

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ПРИКЛАДНОЇ ГІДРОАЕРОМЕХАНІКИ

Передрієнко Сергій Володимирович

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПОТОКУ ПРОДУКТІВ ЗГОРАННЯ, ЯКІ
ВІДХОДЯТЬ З ДИМОХОДУ ТВЕРДОПАЛИВНОГО КОТЛА

Магістерська робота
зі спеціальності 144 «Теплоенергетика»
(Енергетичний менеджмент)

*В роботі не виявлено текстових,
ілюстративних та інших запозичень
без коректного на них посилання*

Керівник роботи:

_____ (підпис)

Сапожніков С.В.

_____ (прізвище, ім'я, по батькові)

К.Т.Н., ДОЦЕНТ

_____ (наукове звання та наукова ступінь)

Суми – 2019

Сумський державний університет
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій
Кафедра прикладної гідроаеромеханіки
Спеціальність 144 «Теплоенергетика» (Енергетичний менеджмент)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри _____

« » _____ 20__ р.

**ЗАВДАННЯ
НА ВИПУСКНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Студента

Передрієнко Сергія Володимировича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи: «Моделювання процесу потоку продуктів згорання, які відходять з димоходу твердопаливного котла»

затверджена наказом по університету № _____ від « » _____ 2019 р. ____

2 Термін здачі студентом закінченої роботи - до 16.12.2019 р

3 Вихідні дані до магістерської роботи: Результати аналітичного та експериментального вивчення інформації процесу відводу продуктів згорання через димохідний канал з твердопаливного котла.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

Вступ.

Розділ 1 – Особливості використання димохідних каналів (Опис матеріалів димохідних каналів. Визначення умов появи «точки роси». Дослідний експеримент, отримання геометричних та технічних параметрів для розрахунку).

Розділ 2 – Числове моделювання процесу відходження димових газів через димохідний канал (Створення тривимірних моделей, побудова розрахункової сітки, опис розрахункової моделі, проведення розрахунку).

Розділ 3 – Аналіз результатів числового моделювання (загальний аналіз результатів моделювання, рекомендації щодо утеплення, повторний розрахунок з додаванням до моделі прошарку утеплювача та повторний аналіз результатів).

Розділ 3 – Розділ з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях. (Правила безпечної експлуатації твердопаливних котлів. Конструкція та безпечна експлуатація запірної арматури. Гасіння пожежі на теплозабезпечуючих об'єктах.)

Висновки.

5 Консультанти з проекту (роботи), із зазначенням розділів проекту

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях	Васькін Р.А.		

6 Дата видачі завдання 11.11.2019 р
Керівник

_____ (підпис)

Завдання прийняв до виконання

_____ (підпис)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Проходження переддипломної практики	з 11.11 до 08.12.2019	
2	Захист переддипломної практики	до 12.12.2019	
3	Виконання 1-го розділу	до 25.11.2019	
4	Виконання 2-го розділу	до 08.12.2019	
5	Виконання 3-го розділу	до 15.12.2019	
6	Представлення виконаної роботи	до 16.12.2019	
7	Проходження перевірки на плагіат	до 21.12.19	
8	Проведення захисту роботи	з 23.12 до 29.12.2019	
9			
10			

Студент-магістр

_____ (підпис)

Керівник випускної роботи

_____ (підпис)

РЕФЕРАТ

Магістерська робота: 73 с., 2 таблиці, 29 рисунків, 3 графіки, 22 літературних джерела, 2 додатки.

Мета роботи: дослідження процесів розподілу тепла від потоку димових газів, що відходять з твердопаливного котла через цегляний димохідний канал.

Були вирішені такі завдання:

- визначено умови за яких руйнуються цегляні димохідні канали;
- за допомогою дослідного експерименту визначено параметри для розрахунку;
- проведено моделювання процесу відходження димових газів з твердопаливного котла через димохідний канал;
- на основі отриманих даних оцінено стан каналу, та зроблена рекомендація утеплення;
- повторно проведено моделювання із вже утепленим каналом та оцінено результати утеплення.

Предметом дослідження є змодельований процес відходження димових газів з твердопаливного котла через цегляний димохідний канал.

Об'єктом дослідження є стан теплових параметрів потоку димових газів та цегляних стін димохідного каналу.

Методи дослідження: математичне моделювання за допомогою програмного продукту ANSYS.

Ключові слова: ЦЕГЛЯНИЙ КАНАЛ, ДИМОВІ ГАЗИ, ТОЧКА РОСИ, МОДЕЛЮВАННЯ, РОЗПОДІЛ ТЕМПЕРАТУР.

Тема роботи – «Моделювання процесу потоку продуктів згорання, які відходять з димоходу твердопаливного котла»

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

Умовні позначення

$V^{пов.}$ – повний об'єм продуктів згорання, $м^3$;

$Q_{мас.}$ – масова витрата $\frac{кг}{сек}$.

Індекси та скорочення

$N_{ел.}$ – кількість елементів;

$N_{заг.}$ – загальна кількість елементів;

ДБН – Державні будівельні норми.

ЗМІСТ

Завдання на магістерську роботу

Реферат

Перелік умовних позначень та скорочень

ВСТУП.....	8
1 ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ДИМОХІДНИХ КАНАЛІВ.....	9
1.1 Матеріали димохідних каналів.....	9
1.2 Волога та її вплив на димохідний канал.....	13
1.3 Особливості сучасних твердопаливних котлів.....	18
1.4 Отримання вхідних даних для розрахунку.....	21
2 ЧИСЛОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПОТОКУ ПРОДУКТІВ ЗГОРАННЯ.....	25
2.1 Створення тривимірних моделей потоку продуктів згорання через димохідний канал.....	25
2.2 Побудова розрахункової сітки на основі тривимірних моделей.....	26
2.3 Параметри граничних умов.....	29
2.4 Розрахунок процесу відходження димових газів через канал.....	30
3 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ЧИСЛОВОГО МОДЕЛЮВАННЯ.....	32
3.1 Загальний аналіз результатів розрахунку моделі.....	32
3.2 Необхідність утеплення цегляного каналу.....	36
3.3 Особливості побудови розрахункової моделі з утеплювачем та розрахунок.....	37
3.4 Аналіз результатів розрахунку відводу димових газів через утеплений димохідний канал.....	39
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	45
4.1 Правила безпечної експлуатації твердопаливних котлів.....	45
4.2 Конструкція і безпечна експлуатація запірної арматури.....	49
4.3 Порядок гасіння пожежі на теплозабезпечуючих об'єктах.....	54
ВИСНОВКИ	57
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	60
Додаток А.....	62

Додаток Б.....	68
----------------	----

ВСТУП

Пристосування сучасних твердопаливних котлів до вже існуючих систем опалення є дуже важливим питанням при впровадженні енергозберігаючих заходів. Нехтування особливостями сучасного енергозберігаючого обладнання та відсутність будь-яких початкових розрахунків є дуже частою причиною отримання анти-ефекту та марною тратою коштів.

Приєднання сучасних котлів до вже існуючих димохідних каналів має ряд певних особливостей які треба обов'язково усвідомлювати.

Мета роботи – за допомогою сучасного програмного продукту ANSYS дослідити, що відбувається всередині димохідного каналу, через який відходять димові гази. На основі отриманих даних розробити захід унеможливлення утворення конденсату.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі: на основі осередненої технічної інформації виробників сучасних твердопаливних котлів та найпоширеніших конструкцій димохідних каналів, а також експериментального обстеження існуючої системи відходження димових газів через димохід, здобути дані для розрахунку; розробити математичну та числову модель процесу відведення газів через канал; провести моделювання процесу із дослідженням температури на виході з димоходу; оцінити результати та розрахувати необхідні заходи щодо збільшення температури на виході; перевірити вжитий захід повторним моделюванням та розрахунком.

Об'єктом дослідження є середньо-статичний по технічним параметрам димохідний канал, через який відходять димові гази певних об'ємів та температури.

Актуальність дослідження роботи димоходу твердопаливних котлів сьогодні можна визначити підвищеним попитом встановленням нового енергозберігаючого опалювального обладнання та постійно виникаючі проблеми з виділенням конденсату в димохідних каналах. Адже якщо нехтувати причинами цього явища, то його негативний вплив пошириться не лише на конструкцію димохідного каналу, але й на роботу усієї системи опалення.

1 ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ДИМОХІДНИХ КАНАЛІВ

1.1 Матеріали димохідних каналів

Димохід – це канал з будь-якого будівельного матеріалу, через який з зони горіння відводяться та розсіваються у повітрі продукти згорання. Головне призначення димохідного каналу - забезпечити відведення продуктів згорання від дихальних органів людей як на більшу відстань.

Конструкційно димохід складається з вертикальної шахти різних розмірів та довжин, до якого під'єднується вихід димових газів котла.

Димохід, як й усі інженерні мережі будь-якої споруди, повинні проектуватися будівельниками виходячи з технічних параметрів обладнання та конструкційних особливостей споруди.

Основні положення нормування деяких головних параметрів для димоходу прописані в ДБН В.2.5-67:2013 [1]. Зокрема серед них:

- димохід може існувати як окрема споруда біля приміщення та може розміщуватися в зовнішній стіні. При необхідності димохід має бути утепленим за для запобігання появи конденсату (пункт 6.8.7);
- нормується переріз димових каналів в залежності від потужності опалювального приладу (пункт 6.8.9);
- вказуються мінімальні розміри матеріалів, з яких можна будувати димохід, та максимально допустимі температури для кожного з них (пункт 6.8.12);
- необхідність захисту гирла димоходів від прямого попадання атмосферної вологи, але водночас цей захист не повинен створювати надмірний аеродинамічний опір (пункт 6.8.13).

Історично склалося що для побудови димохідних каналів використовують декілька типів матеріалів.

Цеглу використовують для димоходів дуже давно, тому вона стала вже традиційним матеріалом. Димохідні канали з цегли роблять не тільки як окрему

будівельну конструкцію. Завдяки універсальності цього матеріалу димохідні канали з нього облаштовують як в зовнішніх стінах будівлі, так й у внутрішніх. Для облаштування каналу, як правило, використовують красну повнотілу цеглу, а для його кладки використовують вапняний або вапняно-цементний розчин. Головною перевагою цегляних димохідних каналів є довговічність та те, що цегла витримує температуру до 800⁰С. Головний недолік цегляного димохідного каналу – дуже великі тепловтрати при високих температурах в канал [2].

Цегляні димохідні канали ідеально підходять для твердопаливних котлів. Вони є довговічними для котлів з високою температурою газів, що відходять, і навпаки, дуже швидко руйнуються при використанні котлів на рідкому паливі і природньому газі. Причина цього руйнування – низька температура газів. Враховуючи складний і агресивний хімічний склад речовин, які утворюються на поверхні каналу та постійно його змочують, відбувається руйнування цегли. Також одним з недоліків цегляного димохідного каналу є шорсткість цегли, та неможливість зробити канал циліндричним. Оскільки в каналі відсутня гладкість, й внутрішня поверхня постійно змінює структуру (цегла-шов, цегла-шов), створюється постійний аеродинамічний опір, який суттєво впливає на тягу (див. рисунок 1.1) [3].

Також саме на шорсткій поверхні дуже швидко утворюється нагар сажі, який при великому накопиченні може загорітись. Саме тому цегляні димохідні канали потребують періодичної чистки, при якій механічно видаляються відкладення сажі.



до чищення



після чищення

Рисунок 1.1 – Цегляний димохідний канал до та після чищення

Використання сталевих труб є найкращим варіантом для газових та твердопаливних котлів. При цьому труби повинні бути виключно нержавіючі, жароміцні та кислотостійкі, оскільки частки сірки, які є у будь-якому паливі, при з'єднанні з вологою та частками вугілля утворюють агресивне середовище.

Сталеві труби можна поділити на два види: одностінні та сендвіч-труби. Одностінні труби дуже часто використовують як гільзу цегляного каналу. Сендвіч-труби – це дві труби, між якими є прошарок, заповнений базальтовим утеплювачем, внаслідок чого суттєво зменшуються тепловтрати (2-5°C на метр вертикальної ділянки каналу). Саме сендвіч-труби в останні роки набули попиту при побудові димохідних каналів (див. рисунок 1.2).



Рисунок 1.2 – Димохід з нержавіючої сталі

Сендвіч-труби мають дуже велику номенклатуру перехідників, колін, трійників, елементів кріплення, які можуть монтуватися як окрема конструкція, так й бути вмонтованою в цегляний канал. Для твердопаливних котлів рекомендовано вживати труби товщиною стінки не менш ніж 1 мм. Серед головних переваг сталевих труб слід зазначити:

- Простота монтажу, мала вага, відсутність в потребі додаткового будування фундаменту;

- Завдяки циліндричній формі каналу та малій шорсткості з часом майже відсутні нагар сажі, не втрачаються аеродинамічні властивості;

- Можливість побудови складних конструкцій;

- Високі корозійна стійкість та висока герметичність (дуже важливо коли в твердопаливному котлі примусова тяга) [2].

Головним недоліком є дуже велика ціна.

Азбестові труби набули популярності, так як суттєво економили кошти на побудову цегляних та сталевих димоходів. Але по своїм властивостям їхнє використання має більш недоліків а ніж користі. Азбестові труби витримують температуру максимум в 300°C , що є недостатнім для твердопаливних котлів. Велика шорсткість внутрішньої поверхні є збірником сажі, яка має властивість загоряння, від чого труба може просто вибухнути та призвести до пожежі. Нестійкість труби до дій конденсату, який просочується та змочує стінки, від чого з часом відбувається руйнування (див. рисунок 1.3). Велика вага, складний монтаж та велика негерметичність стиків. Потреба в додатковому утепленні труби вже після її монтажу, що потребує додаткових витрат на роботи [2].



Рисунок 1.3 – Димохідні труби з азбестових труб

Найбільш універсальні до всіх видів відведення продуктів згоряння є керамічні димоходи. Потребують дуже великих фінансових витрат та для монтажу потребують облаштування окремого каналу, що можливе лише на стадії будівництва будівлі.

Але по своїм властивостям є довговічні, стійкі до агресивних середовищ та корозій, за рахунок малої шорсткості не затримують на своїх поверхнях сажі, мають великі тепло поглинаючі властивості (рис.1.4). Керамічні димохідні канали використовуються навіть для газових котлів, де конденсація газів в рази вища ніж в твердопаливних [2].



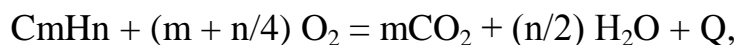
Рисунок 1.4 – Схема керамічного димохідного каналу

1.2 Волога та її вплив на димохідний канал

Суттєвим чинником, що впливає на роботу димохідного каналу, є склад продуктів горіння. Він напряду залежить від складу палива (деревина різних порід, вугілля) та умов його горіння. Наприклад, деревина складається із з'єднань вуглецю, водню, кисню та азоту. Таким чином продуктами згоряння деревина є: вуглекислий газ, азот, пари води, окис вуглецю, сірчистий газ. При згорянні 1 кг деревини виділяється близько 8 м³ газоподібних продуктів. На склад продуктів горіння

суттєво впливають умови, при яких відбувається процес горіння. Продукти горіння, за винятком окису вуглецю, горіти більш не здатні. Невід'ємною частиною продуктів згоряння є вуглець, який присутній у вигляді сажі [4].

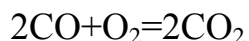
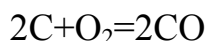
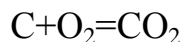
Будь-яке доступне побутове паливо має вуглеводневу природу. У процесі горіння вуглеводного палива обов'язково синтезується вода в результаті термічного розкладання (піролізу) молекул вуглеводню з подальшим окисненням (горінням) отриманих продуктів піролізу палива. Тому, газоподібні продукти горіння (димові гази) вуглеводного палива завжди містять водяну пару, синтезований в процесі піролізу і горіння паливної речовини:



де, m - число атомів вуглецю в молекулі вуглеводню;

n - число атомів водню в молекулі вуглеводню.

До вуглеводного паливу відноситься вся органіка (в тому числі і деревина), природний газ, нафту, вугілля і продукти їх переробки. Найбільший вміст водяної пари в димових газах дає горіння дров, особливо сирих (вологістю до 45%). Волога, яка міститься в порах і порожнинах деревини, випаровується і переходить до складу димових газів, додаючись до синтезованої води. Найменша вміст водяної пари в димових газах дає горіння вугілля. Вугілля практично не містить у своїй масі молекул води і має дуже малу вуглеводневу складову. Основна маса складу вугілля - це чистий вуглець (C), який не має стадії піролізу палива і горить (окислюється) безпосередньо, без синтезу води:



Газоподібні продукти горіння (димові гази) вугілля майже не містять водяну пару, оскільки у вугільній масі є вкрай мало вуглеводнів для синтезу води і практично повністю відсутня звичайна вода (H_2O).

Покинувши високотемпературну зону горіння, димові гази починають віддавати тепло і охолоджуватися. Охолодившись до температури «точки роси», водяна пара починає конденсуватися на поверхні теплообмінника котла й його димових труб [4].

«Точка роси» - це температура охолоджуваного повітря, при якій його відносна вологість досягає позначки 100% і водяні пари починають «випадати в осад», тобто конденсуватися. Іншими словами, «точка роси» - це температура, до якої потрібно охолодити повітря, щоб з нього виділився водяний конденсат (з'явилася роса). Точка роси залежна від температури повітря і фактичного вмісту вологи в ньому [5].

Місце, де температура димових газів відповідає «точці роси» і де починається конденсація водяної пари - називається «зона конденсації».

На рисунку 1.5 зображено випадок, коли конденсація димових газів відбувається на закінченні димохідного каналу [6].



Рисунок 1.5 – Зона конденсації димових газів на закінченні димохідного каналу.

Зона конденсації - дуже рухлива ділянка, яка ніколи не стоїть на місці та постійно переміщується. При розпаленні холодного дров'яного котла, продукти

горіння, потрапляючи в димохідний канал і стикаючись з його холодною поверхнею, миттєво охолоджуються, вологоємність (максимально можливе вміст води) повітря знижується і надлишок води випадає у вигляді роси на поверхні стін каналу [5].

При горінні закладки дров в твердопаливному котлі склад димових газів змінюється з часом. Спочатку вигорають летючі частки і випаровується вода, а потім згорає вугільний залишок. Очевидно, що в початковий період вміст водяної пари в димових газах буде значно вище ніж розраховане, а на етапі горіння вугільного залишку - нижче. Тому утворення конденсату в димохідних каналах твердопаливних котлів носить циклічний характер. У початковий момент, поки труба ще не прогріта, на її стінках випадає конденсат, а в міру прогріву труби конденсат випаровується. Якщо вода з конденсату не встигає випаруватися повністю, то поступово вона просочує цегляну кладку димоходу, і на зовнішніх стінах з'являються чорні смолисті відкладення. Якщо це відбувається на зовнішньому ділянці димоходу (на вулиці або в холодному горищному приміщенні), то постійне зволоження кладки взимку призведе до руйнування пічної цегли [7].

Конденсація водяної пари відбувається в інтервалі температур від 0°C до 100°C .

На рисунку 1.6 зображено смолянистий конденсат з димових газів та руйнування цегляного каналу в результаті постійно виникаючої води.



Рисунок 1.6 – Смоляний конденсат та руйнування димохідних каналів

Падіння температури залежить не тільки від фаз горіння та випаровування води з палива (інтенсивності горіння палива), але й від конструкції димохідного каналу. У цегляних димоходах падіння температури може досягати 25°C на метр погонний. Цим обґрунтовується вимога мати температуру димових газів на виході з твердопаливного котла приблизно $200\text{--}250^{\circ}\text{C}$, з тією метою, щоб на кінці димохідного каналу вона склала $100\text{--}120^{\circ}\text{C}$, що свідомо вище точки роси. Падіння температури в утеплених димоходах типу «сандвіч» становить всього кілька градусів на метр, і температура на виході з печі може бути знижена [8].

Точку роси димових газів можна визначити графічним методом. На рисунку 1.7 можна побачити, що при накладенні графіку щільності пари димових газів на графік щільності водяної пари, перетин цих графіків буде відповідати точці роси димових газів при відповідній вологості і надлишку повітря. З графіку видно, що при самому поганому випадку коли вологість деревини, що горить, становить 100% (половина горючої маси складає вода), без надлишку повітря конденсація водяної пари почнеться приблизно при 70°C [8].

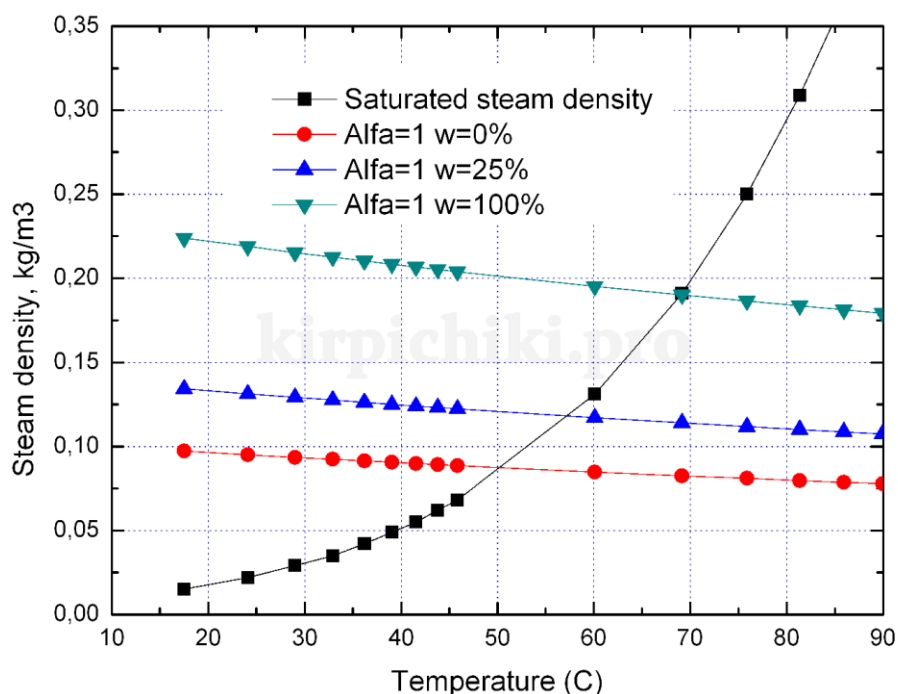


Рисунок 1.7 – Точка роси димових газів при надлишку повітря одиниця та різних вологості деревини

З графіку також видно, що надлишок повітря значно понижує температуру випадання конденсату, тому підмішування надлишкового повітря в димохід – один із способів усунення появи конденсату в димохідних каналах [8].

1.3 Особливості сучасних твердопаливних котлів

На відміну від старих поколінь твердопаливних котлів, нові та сучасні мають певні конструктивні особливості, які суттєво вплинули на ККД котлів та внесли деякі зміни в роботу димохідних каналів.

Перша особливість сучасних конструкцій твердопаливних котлів – це збільшення внутрішньої поверхні теплообміну за рахунок додавання в топку додаткових площин, по яким протікає вода. На рисунку 1.8 можна побачити приклад як димові гази йдучи із зони горіння до димохідного каналу можуть змінювати напрям руху та проходити декілька вертикальних або горизонтальних каналів, через середину яких протікає теплоносій.

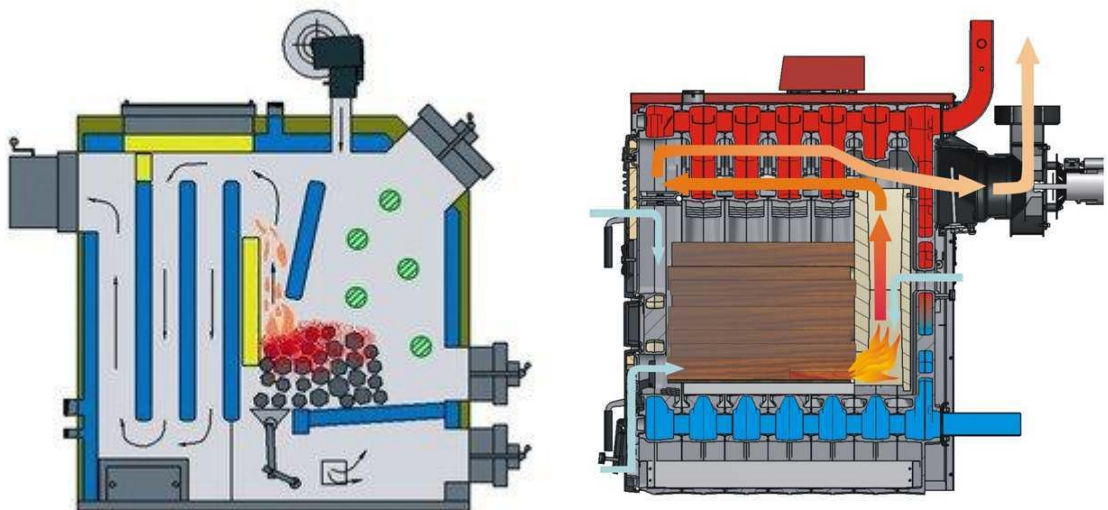


Рисунок 1.8 – Схема напрямків ходу димових газів в сучасних котлах

Димові гази, маючи великі значення теплового потоку, проходячи та оминаючи усі ці перешкоди, віддають стінкам теплообмінника теплову енергію. Ця енергія, яка

завдяки збільшенню поверхні теплообміну суттєво збільшена, передається по трубопроводах до опалювальних приладів, та збільшує ККД котла.

Друга конструкційна особливість, це регулювання процесу горіння механічним регулятором тяги (рис. 1.9). Принцип роботи регулятора полягає в тому, що в залежності від температури води в котлі через приєднаний до нього ланцюг, регулюється відкривання та закривання заслінки тяги, чим і регулюється інтенсивність горіння [9].

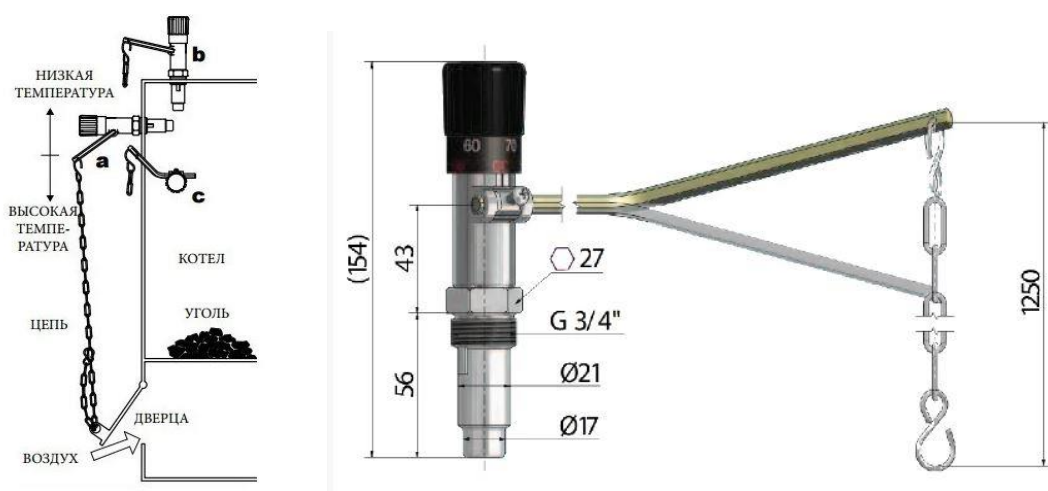


Рисунок 1.9 – Регулятор тяги твердопаливного котла

Наявність такого терморегулятора передбачено у кожному сучасному твердопаливному котлі та є функцією не тільки регулювання, але й захисту від аварійного підвищення температур.

На рисунку 1.10 зображено три умовні фази роботи сучасного твердопаливного котла, на якому на регуляторі тяги задано 80°C (при умові постійного теплового навантаження). В першій фазі горіння відбувається процес розпалу палива. Терморегулятор в цій фазі до заданого значення відкриває заслінку, поки температура не набуде заданого параметру, після чого настає друга фаза.

В другій фазі терморегулятор, прикриваючи заслінку, подає мінімум повітря, необхідного для горіння (фактичного тління) палива й отримання на виході з котла заданої температури у 80°C. За рахунок підтримання цього мінімального значення

об'єму повітря для процесу горіння і досягається те, що процес горіння відбувається не в усій зоні прошарків палива, яке знаходиться у топці, а лише в зоні тліючого дерев'яного вугілля. Цей процес відбувається самий тривалий час (від 2 до 6-9 годин), поки не перегорять усі прошарки палива, що міститься в топці, після чого, при зменшенні температури, терморегулятор все більше і більше відкриває тягову заслінку. Оскільки горіти вже немає чому, незважаючи на збільшення подачі повітря, йде повільне зменшення температури. Це третя фаза – затухання.

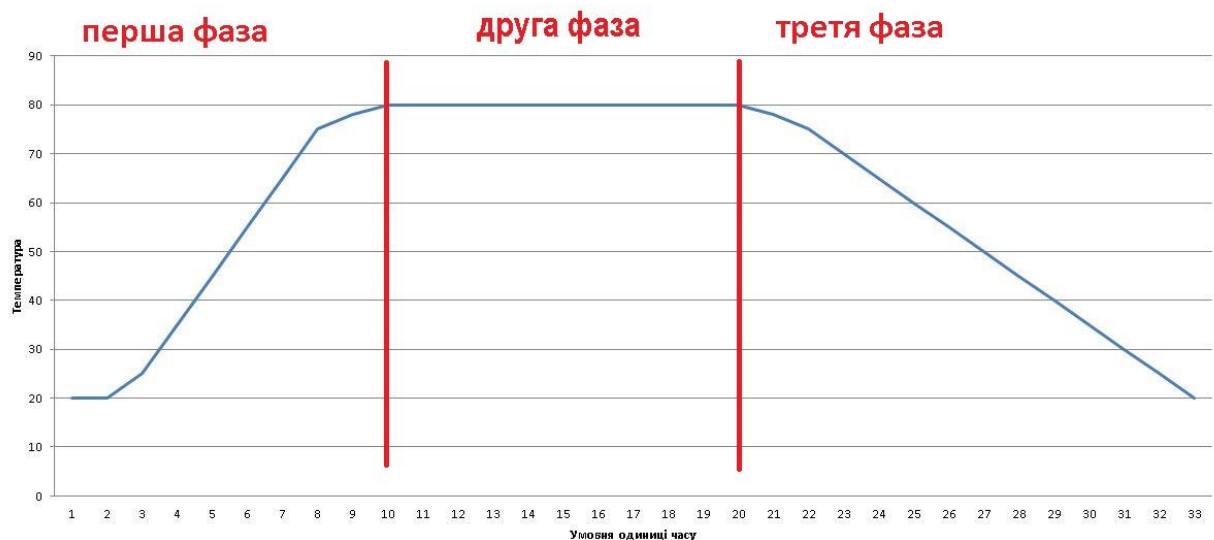


Рисунок 1.10 – Фази горіння твердопаливного котла

Таким чином, завдяки збільшенню теплообміну внутрішніх поверхонь з зоною горіння та автоматичного регулювання подачі кисню терморегулятором, виробники досягли:

- Збільшення загального ККД котла.
- Зменшення температури димових газів.

1.4 Отримання вхідних даних для розрахунку

Для отримання даних для моделювання процесу потоку димових газів через димохідний канал необхідно визначити:

- Геометричні параметри димохідного каналу;
- Матеріал димохідного каналу;
- Температури димових газів та розрахункову температуру зовнішнього повітря.

Модель димохідного каналу було розроблено на основі середньо статичних даних спостережень в місті Суми та прилеглих сільських районів. Спостереження показали, що димоходи в більшості:

- є складовою частиною будівель та споруд;
- є цегляними, внутрішній канал яких в перерізі має прямокутну форму, та відповідає геометричним розмірам цегли.;
- трьома сторонами знаходяться на вулиці (так звані «приставні» димоходи); деякі лише однією з сторін граничать з вулицею, і тільки поодинокі випадки, коли димохідний канал є окремою спорудою.

Тому було обрано модель заввишки 6,5 м від поверхні землі, в горизонтальному розрізі має прямокутну форму розміром 250x120 мм, яка фактично відповідає розміру цегли, і в яку на висоті 0,75 м від поверхні землі входить циліндричний канал, через який безпосередньо від котла відходять продукти згорання.

Враховуючи існуючу інформацію, для отримання вхідних даних для розрахунку було зроблено дослідний експеримент.

Мета експерименту – дослідити зміну температуру димових газів на виході з твердопаливного котла на фазі розігріву та на фазі підтримки заданої температури; для розрахунку отримати чисельне значення температури на другій фазі роботи котла.

Об'єктом експерименту стала приватна будівля з автономною системою опалення та встановленим твердопаливним котлом TM VIADRUS. Димохідний канал через який з котла відводяться димові гази, знаходиться у внутрішній стіні

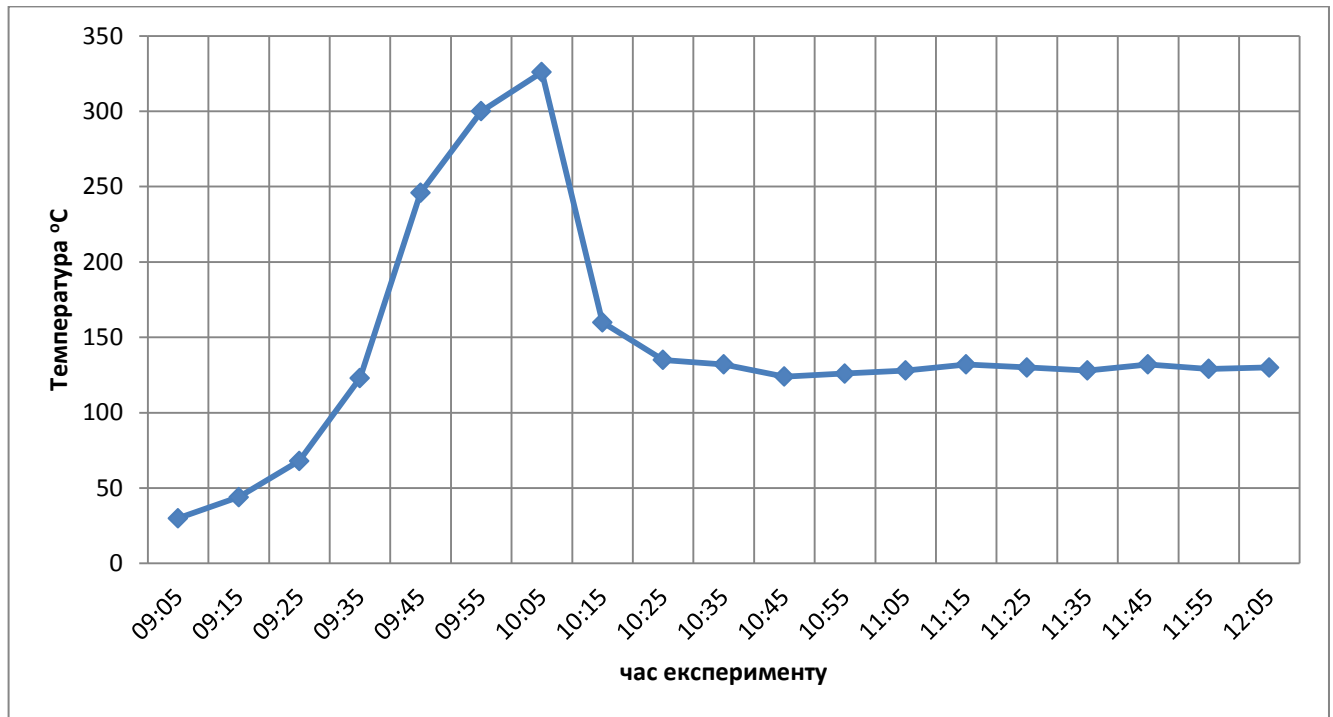
(перегородці), та з обох сторін має однакову з опалювальним приміщенням температуру. Технічні параметри дослідження приведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Технічні параметри експериментального об'єкту

Країна-виробник котла	Чехія
Марка, модель	VIADRUS, HERCULES U22 D6
Номінальна потужність котла	33 кВт
Загальна опалювальна площа	200 м ²
Кількість спаленого палива (кускова деревина – дуб)	20 кг.
Нормована витрата палива за год.(кускова деревина)	9,6 кг.
Час проведення експерименту	3 год.
Зовнішня температура повітря	-5°C
Внутрішня температура в приміщенні	19°C
Вид системи циркуляції теплоносія	гравітаційна (природня)
Висота димохідного каналу від виходу з котла	9 м.п.
Задана на регуляторі температура теплоносія	70°C

Під час проведення досліду для періодичного вимірювання температур було використано тепловізор та пірометр. Фіксування показів здійснювалися кожні 10 хвилин. На основі зафіксованих показань було отримано графік залежності температури газів, що відходять від котла, від часу.

Графік 1.2 – Залежність температури від часу при експерименті



Аналіз графіку підтверджує роботу котла по фазам роботи «розігрів» та «тління». В період с 09:05 до 10:05 йде розігрівання котла та первинний нагрів системи опалення до заданої температури. Супроводжується поступовим зростанням як температури теплоносія, так й температурою димових газів, що відходять до каналу. Цей період короткочасний, який змінюється більш тривалим – періодом «тління». Починаючи з 10:05 и до 12:05 (період закінчення експерименту), температура димових газів знижується до 130°C й практично не змінюється.

Це режим, у якому максимально збалансована робота котла. Терморегулятор подає в мінімально потрібній кількості повітря, необхідне для горіння, а процес теплообміну між вогнем та теплообмінником котла задовольняє виробництво необхідною кількості енергії, яка передається та споживається системою опалення. Цей процес буде відбуватися допоки в топці не закінчиться (прогорить) деревина.

Результат досліджу: робоча температура, яку можна використовувати для дослідження димохідного каналу - 130 °C.

Фактичну витрату димових газів в другій (робочій) фазі «тління» під час проведення експерименту виміряти не вдалось, оскільки на об'єкті, який

досліджувався, не було можливості фізично дістатись до верхньої частини димоходу.

За основу були взяті теоретичні параметри об'ємної витрати димових газів 1 кг деревини при умові вологості повітря 15%, дані яких зображено на рисунку 1.11 [10].

W (%)	Q _н (ккал)	Кол. воды в 1 кг дров (г)	Кол. сухой горючей массы в 1 кг дров (кг)	Кол. тепла, затрачиваемого на испарение воды в дровах (ккал)	Кол. воды в дымовых газах при сгорании сухой части дров (г)	Кол. воды в дымовых газах при сгорании 1 кг дров (г)	Масса воздуха при стехиометрическом горении (кг)	Объем воздуха при стехиометрическом горении (кг)	Объем продуктов горения (м3) (+доп. объем газов к воздуху м3)	Доп. объем дымовых газов (м3)	Примечание.
0	4400	0	1	0	549	549	5,96	4,62	5,4	0,78	Искусственно высушенные.
10	3900	100	0,9	55	494	594	5,4	4,15	5,0	0,85	
15	3650	150	0,85	82,5	467	617	5,1	3,9	4,8	0,9	Подсушенные в помещении.
20	3400	200	0,8	110	439	639	4,8	3,7	4,58	0,88	Годовые под навесом.
25	3150	250	0,75	137,5	412	662	4,5	3,5	4,35	0,85	
30	2900	300	0,7	165	384	684	4,2	3,23	4,18	0,88	
35	2650	350	0,65	192,5	357	707	3,9	3,0	3,9	0,9	
40	2400	400	0,6	220	329	729	3,6	2,8	3,73	0,93	

Рисунок 1.11 – Характеристики деревини при різній ступені вологості

Знайдемо повний об'єм продуктів горіння деревини в 1 кг:

$$V^{нов.} = V_{осн.} + V_{доп.} = 4,8 + 0,9 = 5,7 \text{ м}^3$$

Загальна об'єм продуктів горіння із врахуванням фактичної годинної витрати палива в кг:

$$V_{заг.} = V^{нов.} \cdot P = 5,7 \cdot 9,6 = 54,72 \frac{\text{м}^3}{\text{год.}}$$

За допомогою онлайн-калькулятора [11] переведемо об'ємну витрату $\frac{\text{м}^3}{\text{год.}}$ в

масову $\frac{\text{кг}}{\text{сек}}$, враховуючи, що щільність повітря $1,2 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. Отримаємо, що масова

витрата димохідних газів становить $Q_{мас.} = 0,018392 \frac{\text{кг}}{\text{сек}}$.

2 ЧИСЛОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПОТОКУ ПРОДУКТІВ ЗГОРАННЯ

2.1 Створення тривимірних моделей потоку продуктів згорання через димохідний канал

Для проведення розрахунку процесу відводу продуктів згорання, в програмному продукті SolidWorks було розроблено обчислювальну модель на кожен складову частину процесу: канал, цеглу та зовнішнє повітря (рис. 2.1).

Перша модель - канал - це внутрішній порожній об'єм димової шахти (рис.2.1.а), через який, при працюючому твердопаливному котлі, виходять та розсіюються в атмосферу продукти згорання.

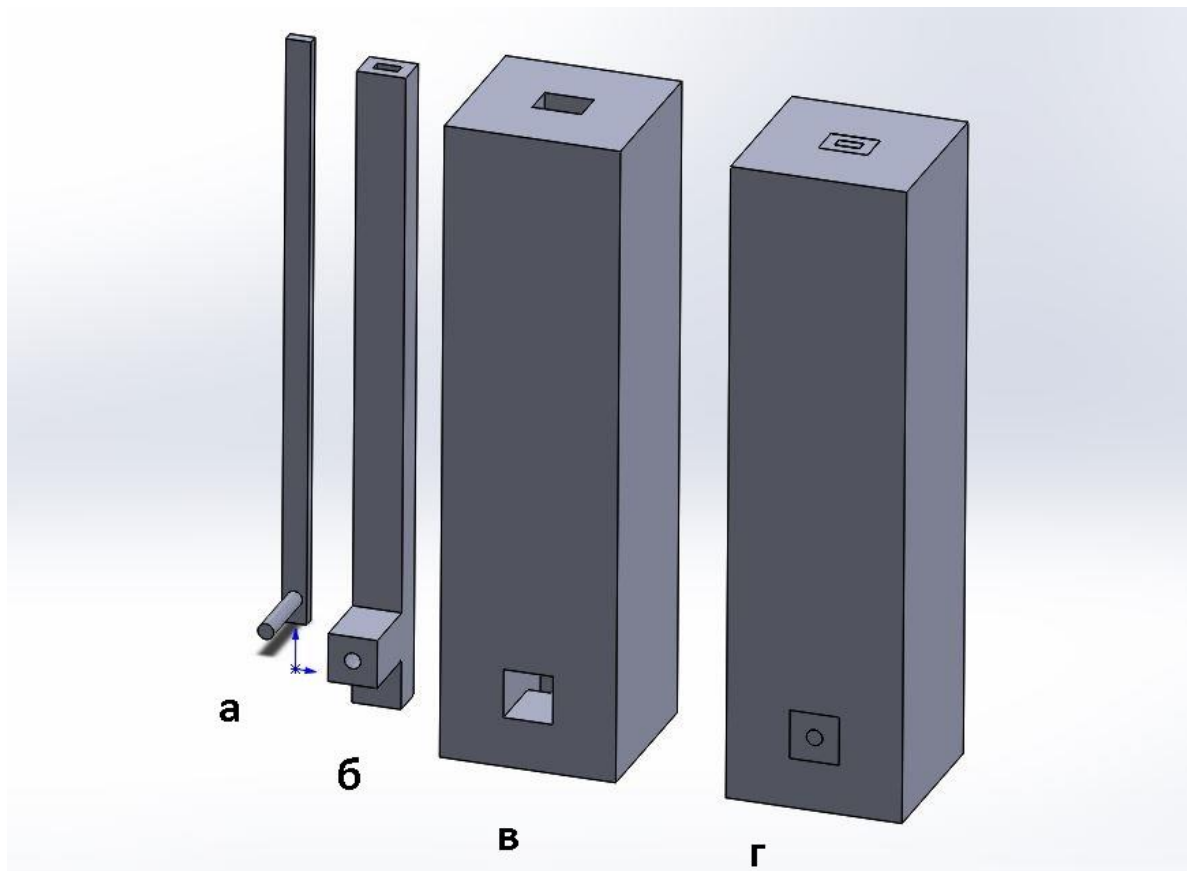


Рисунок 2.1 – Розрахункові моделі: а) внутрішнього каналу;
б) цегляної частини; в) повітряного середовища, в якому знаходиться димохідний канал; г) всі моделі з'єднані разом.

Друга модель – це цегляні стіни навколо каналу (рис.2.1.б), товщина яких дорівнює 120 мм, а зовнішній розмір 490x360 мм. Третя модель - це модель зовнішнього повітря (рис. 2.1.в), яка обтікає зовнішні цегляні стіни димохідного каналу. Модель має зовнішні розміри 1764x1764 мм. Моделі зроблені так, що при з'єднанні усіх трьох моделей (рис.2.1.1.г), між ними є прошарок завтовшки 1 мм зі всіх сторін.

Дана модель передбачає що димохідний канал стоїть окремо від будівель і споруд та з усіх сторін стикається лише з повітрям навколишнього середовища. Вибір саме такої моделі дасть можливість дослідити розподіл температур при нагріванні каналу в однакових температурних умовах з усіх сторін.

2.2 Побудова розрахункової сітки на основі тривимірних моделей

Для моделювання процесу потоку продуктів згорання, які відходять з димоходу твердопаливного котла використовуємо програмний продукт Ansys 16.2, завдяки якому є можливість дослідити розподіл температур всередині моделі процесу.

Побудовані в програмному продукті SolidWorks тривимірні моделі по черзі завантажуються в сітковий генератор ICEM CFD 16.2 [11]. В кожній імпортованій до сіткового генератора моделі вказуємо розрахункову область. Для цього моделі були розділені на точки, криві та поверхні для завдання потім на них граничних умов (рисунок 2.2).

Для розрахунку кожна з вказаних моделей через сітковий генератор розбивається на так звану сітку, яка складається з багатьох комірок – тетраєдрів. Це створюється за для того, щоб в процесі чисельного розв'язання рівнянь математичної моделі у вузлах розрахункової сітки методом послідовних наближень визначалися шукані параметри процесів.

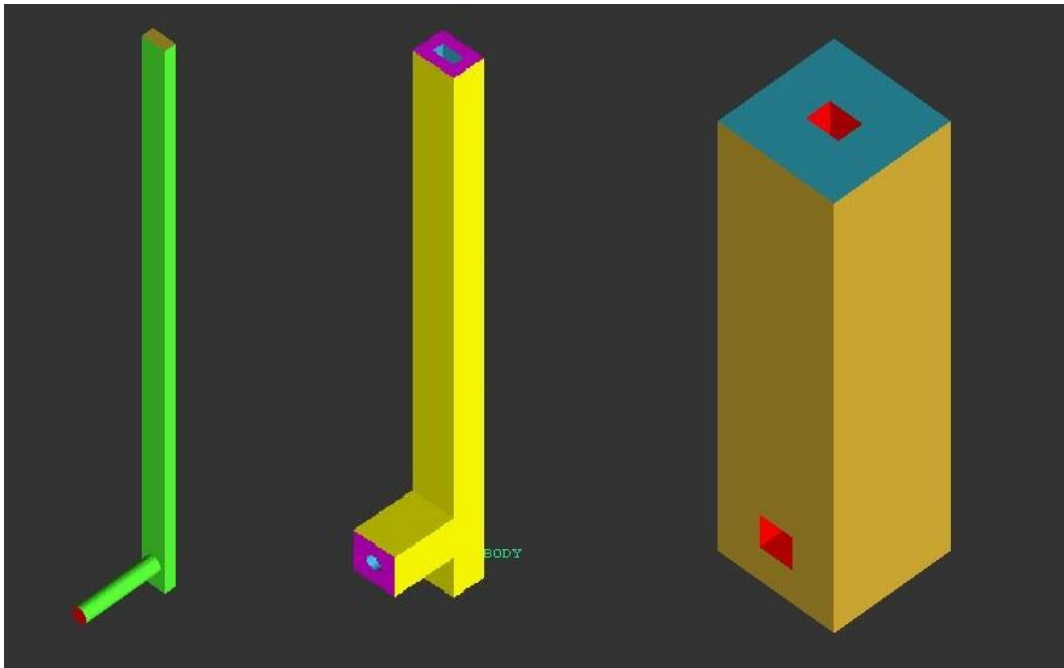


Рисунок 2.2 – Розрахункові області моделей каналу, цегли та повітря

При даному розрахунку була вибрана модель неструктурованої тетраїдерної сітки. Тіло моделі ділиться програмою на комірки певних, попередньо заданих розмірів. Головний критерій розбиття – це фізична кількість комірок, яка впливає на якість розрахунку та технічні можливості комп'ютера, на якому буде виконано розрахунок.

При розбитті сітки в кожній з моделей, виходячи з їх геометричного розміру, було визначено свій розмір комірок. Наприклад, в моделі «каналу» було обрано тетраїдер розміром 30мм, а в моделі «повітря» було обрано тетраїдер 50 мм (рис.2.3).

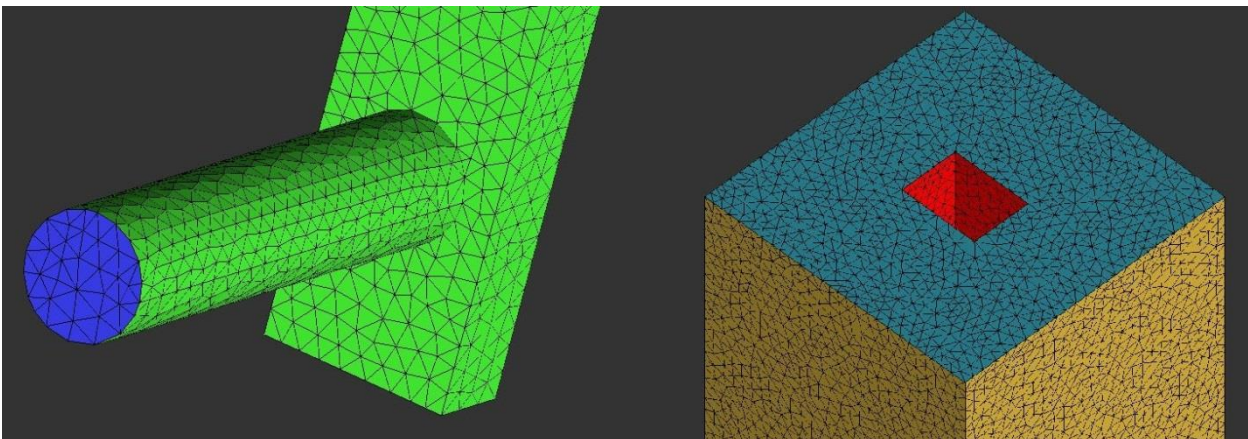


Рисунок 2.3 – Неструктурована сітка моделей «канал» та «повітря»

Кожна ж моделей після розділення поверхонь для завдання граничних умов було перевірено на якість тетраїдерних комірок. Незадовільні комірки було виправлено так званим згладжуванням (змінюю їх геометричних параметрів) [12].

Враховуючи особливості течії повітря як ззовні димохідного каналу так і в середині його, на поверхнях, які граничать одна з одною, було додатково зроблено пристінкове згущення комірок сітки («прикордонний шар»). Кожна така стінка додатково має 11 шарів комірок, які рівномірно зменшуються в бік стінки (рис.2.4).

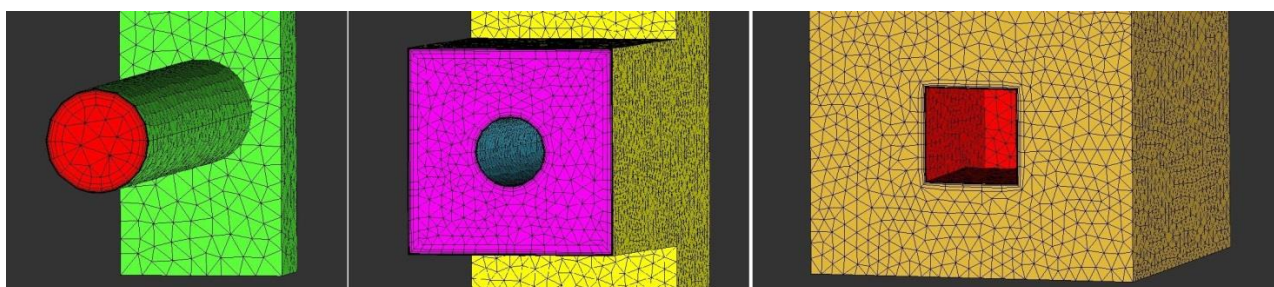


Рисунок 2.4 – Призматичні шари моделей

Параметри кожної побудованої розрахункової сітки вказано в таблиці 2.1

Таблиця 2.1 – Параметри розмірів комірок та прикордонних слоїв

Параметр	модель «Канал»	модель «Цегла»	модель «Повітря»
$N_{\text{ел}}$	220 324	942 019	869 923
Розмір комірки, мм.	30	30	50
Початкова висота «initial height», мм.	0,03	0,03	0,03
Показник ступеню прогресії «height ratio»	1,8	1,8	1,8
Кількість призматичних слоїв, шт.	11	11	12
Загальна товщина призматичного шару ,мм.	24	24	43
$N_{\text{заг.}}$	2 032 266		

2.3 Параметри граничних умов

Для завдання параметрів розрахунку потоку димових газів через димохідний канал розрахункові сітки трьох моделей було імпортовано в модуль Препроцесора CFX-Pre, де вони з'єднались у загальну єдину конструкцію (рис. 2.5).

На основі отриманих розрахункових і отриманих даних в препроцесорі були задані граничні умови для кожної з моделей, які є складовою частиною процесу що моделюється [13].

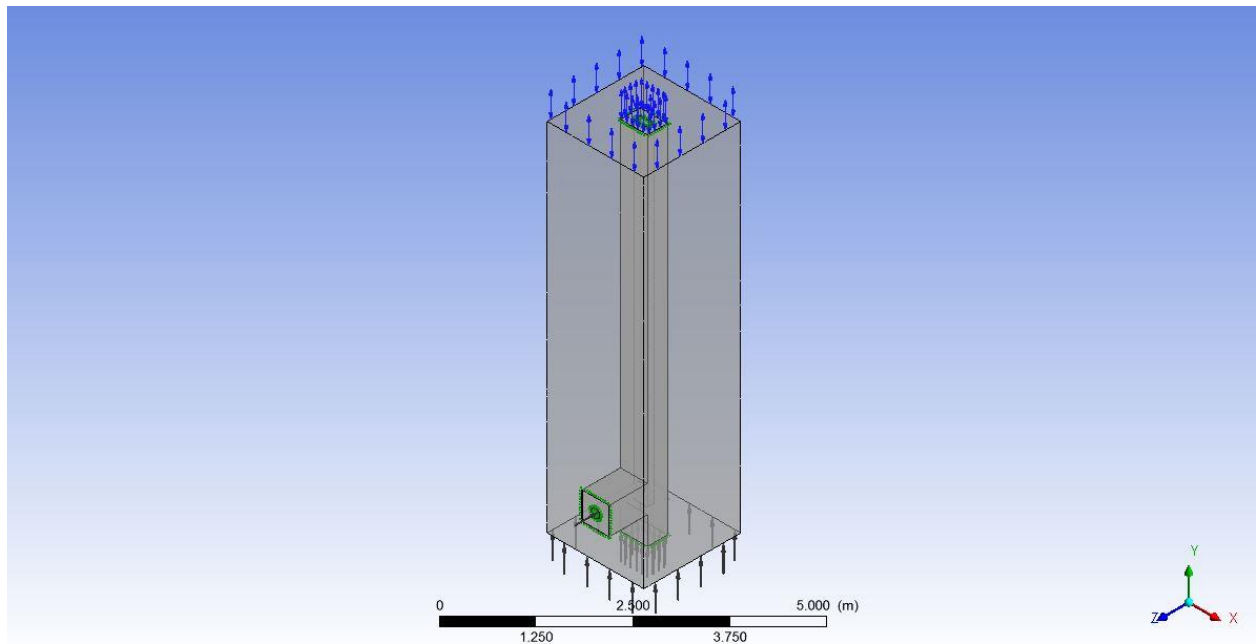


Рисунок 2.5 – Розрахункова область в препроцесорі

Головна частина моделювання – це тіло каналу, через який походять димові гази. Розрахована масова витрата становить $0,018392 \frac{\text{кг}}{\text{сек}}$. В моделі каналу було задано місце входу потоку, та його виходу. Розрахункова, отримана в дослідному експерименті, температура становить $+130^{\circ}\text{C}$. Беручи до уваги те, що склад продуктів згорання включає в себе багато компонентів, щоб не ускладнювати розрахунок в якості теплоносія було обрано повітря за стандартних умов (AIR STP), технічні параметри якого є в бібліотеці програмного продукту Ansys. В якості матеріалу стін димохідного каналу була обрана звичайна цегла («Brick common»). В

якості середи, в якій знаходиться димохідний канал, було обрано повітря при розрахунковій температурі – 22°C, яке рухається знизу вгору зі швидкістю 0,4 м/с (ефект вітру) [13].

Процес розрахунку стаціонарний. Також при розрахунку враховувалась модель природньої гравітації.

Щоб з'єднати граничні умови та параметри усіх трьох моделей, в препроцесорі було обрано функцію Interface. Оскільки маємо три моделі, то інтерфейси два. В параметрах з'єднання моделей було вказано тип з'єднання (тверда модель/ текуча модель), а в моделі перенесення тепла вказаний тип «conservative interface flux». Цей параметр передбачає, що процес теплообміну між стінами інтерфейсу відбувається вільно без перешкод.

Для розрахунку було задано 500 ітерацій. Також був заданий моніторинг температури на виході з каналу для контролювання процесу розрахунку.

Загальні параметри граничних умов розрахунку вказані в Додатку А.

2.4 Розрахунок процесу відходження димових газів через канал

Для розрахунку процесу була використана комплексна програма CFX Solver Manager 16.2. Ця програма за допомогою методу поступових наближень вирішує рівняння, задані в розрахунковій моделі [14].

Після початку розрахунку, програма виводить графіки контролю за декількох параметрів, контроль яких можна візуально спостерігати (рис.2.6).

Результати візуального моніторингу температури на виході з димохідного каналу говорить про те, що розрахунок відбувся швидше ніж очікувалось, що свідчить про якісну розрахункову модель.

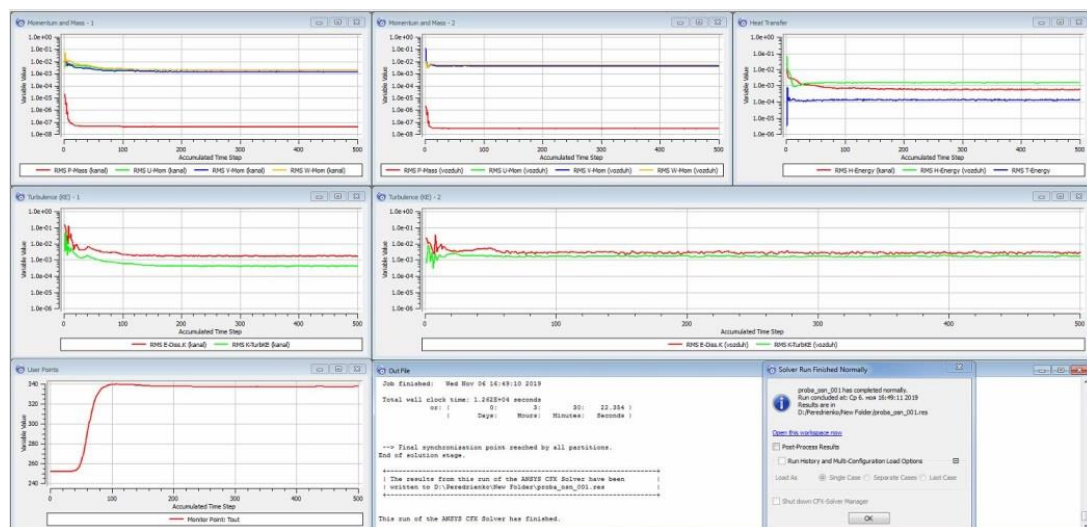


Рисунок 2.6 – Графіки процесу контролю розрахунку

3 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ЧИСЛОВОГО МОДЕЛЮВАННЯ

3.1 Загальний аналіз результатів розрахунку моделі

Отримані результати розрахунку завантажуються у пост-процесор CFD Post 16.2, за допомогою якого отримані результати розрахунку можливо візуалізувати та отримати чисельні значення.

Перше, що маємо показати – це загальний розподіл температур повітря та цегли у розрізі (рис.3.1А).

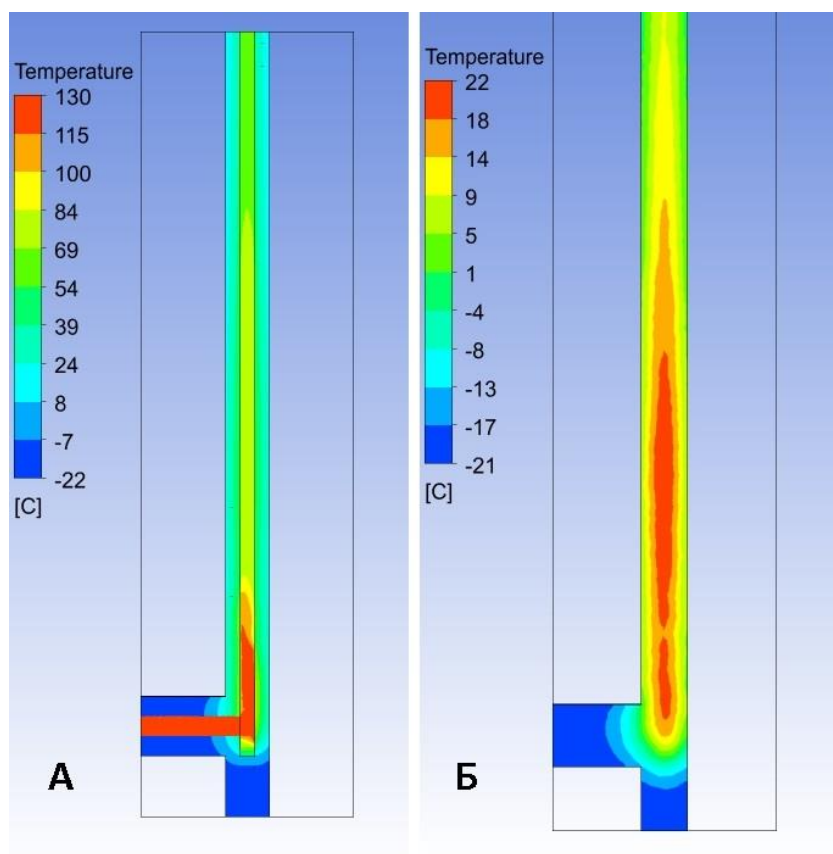


Рисунок 3.1 – Візуалізація розподілу температур (А – всередині каналу та цегли; Б – на зовнішній стінці цегли)

Відповідно до обраних температурних умов зовнішнього повітря бачимо, що розподіл температур відбувається нерівномірно. Це візуалізовано великим діапазоном температур. Щодо зовнішньої поверхні цегли (рис.3.1.Б), то

максимальна температура поверхні досягає $+22^{\circ}\text{C}$. Це говорить про те, що цегляний канал, не дивлячись на усі переваги його міцності та універсальності використання, не може забезпечити мінімальні тепловтрати та збереження температури. Він добре прогрівається та віддає тепло навколишньому середовищу, що негативно впливає на збереження температури газів, що відходять.

За допомогою осереднення температури по площині каналу з кроком кожні 20 см. висоти, отримаємо графік, завдяки якому можна побачити скільки градусів потоку димових газів втрачається по мірі охолодження.

Графік 3.1 - Розподіл осередненої температури димових газів по висоті.



Графік показує, що за перший метр висоти каналу температура газів падає на 37°C , за другий на 12°C , за третій та інші по 5°C на метр. Тобто в заданій геометрії моделі димовідного каналу температура газів що відходять, із врахуванням масової витрати, зменшилась з 130°C до 64°C .

Беручи до уваги, що випадіння конденсату неможливе при температурі більше 100°C , зробимо візуалізацію потоку газів в каналі саме з цим показником (рис.3.2).

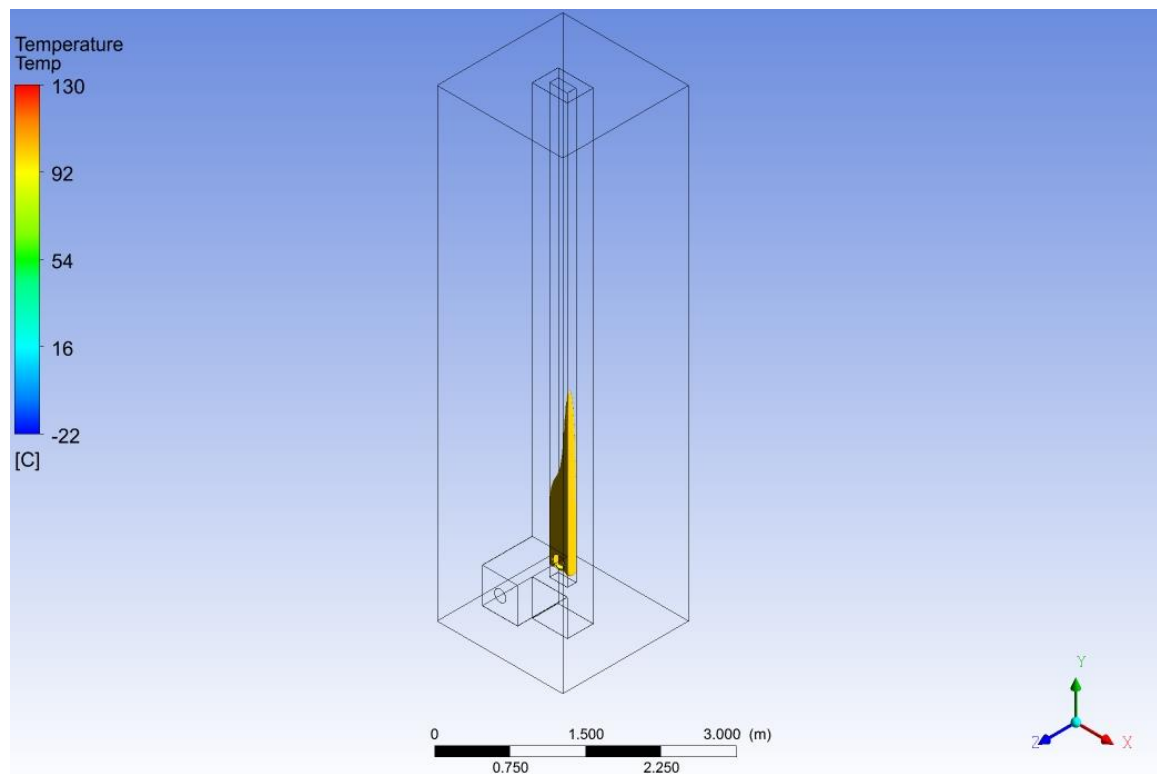


Рисунок 3.2 – Візуалізація температурної зони 100°C

На рисунку добре видно, що димохідний цегляний канал не може забезпечити стовідсоткові умови, за якими точка роси не має з'являтися на його стінках. В більшій частині потоку димових газів температура газів нижча ніж 100 °C, а це значить, що в більшій частині каналу велика ймовірність виникнення точки роси.

На рисунку 3.3 показана візуалізація розподілу температур на поверхні внутрішньої стінки цегляного каналу.

Також слід звернути увагу на те, що на течію газів по каналу суттєво впливає матеріал та його геометрична форма. Ідеальна для ламінарної течії є форма циліндру. Ми маємо форму паралелепіпеду, в якому розподіл швидкостей течії є нерівномірним.

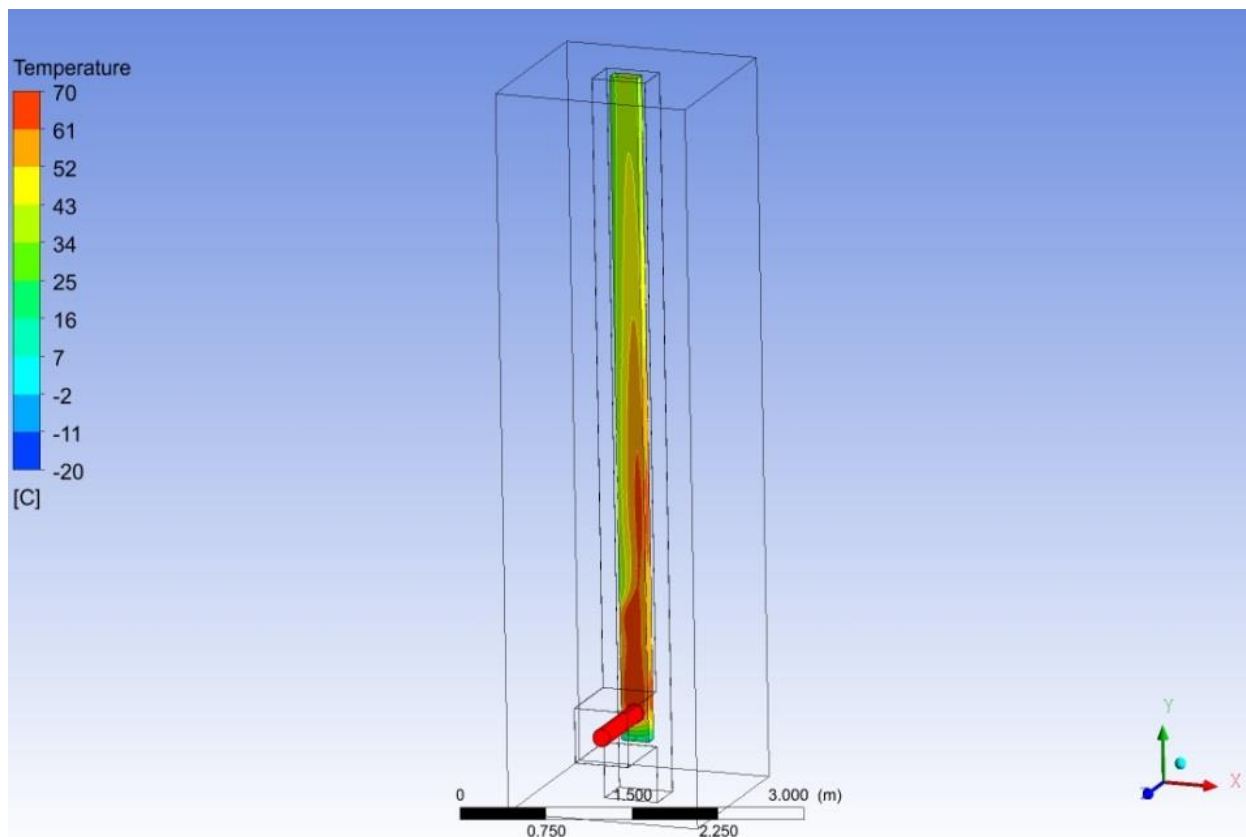


Рисунок 3.3 – Розподіл температур на внутрішній поверхні цегли

Програмне забезпечення що використовувалось розраховує задану модель в конкретний момент часу, та показує моменти певної миттєвості процесу. Тому на рисунку 3.4 наведено візуалізацію розподілу швидкостей руху димових газів в певну мить процесу. Виходячи з побаченого можна зробити висновок, що течія в середині каналу турбулентна. Ядро потоку газів зміщено в бік відносно осі, з іншого боку присутні процеси завихрення. У кутових зонах швидкість взагалі має найменші значення, що автоматично говорить про нерівномірність прогрівання такої форми каналу по всій площині.

Така нерівномірність розподілу векторів швидкостей може бути обумовлена малою витратою димових газів відносно поперечного перерізу каналу в робочій фазі горіння (фактичного тління). В фазі розігріву котла об'єми димових газів значно більші ніж в робочій фазі, оскільки регулятор тяги подає в топку повітря більше.

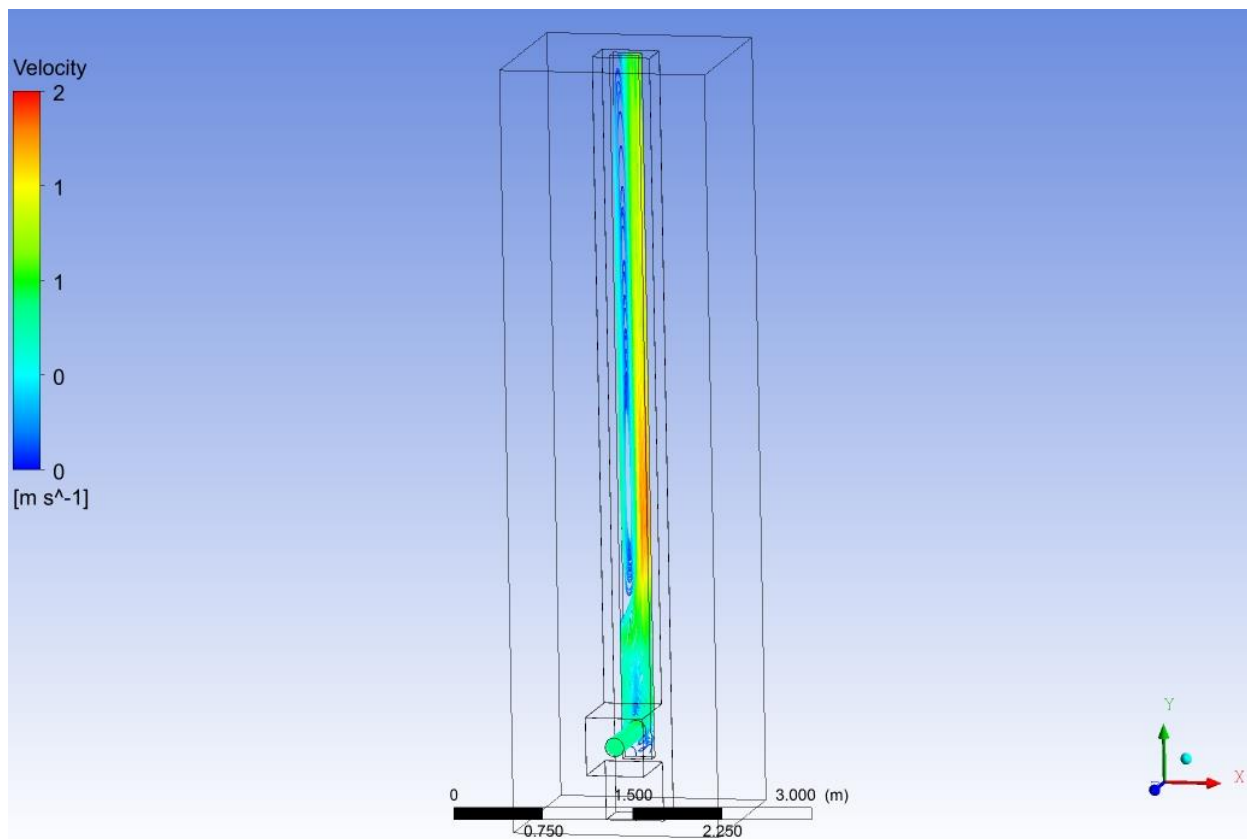


Рисунок 3.4 – Розподіл швидкостей в потоку димових газів

Проаналізувавши отримані дані можна зробити висновок, що цегляний димохід який ми досліджуємо, не може забезпечити умови, при яких неможлива поява та випадіння конденсату.

3.2 Необхідність утеплення цегляного каналу

Результати розрахунку показали, що більша частина димохідного каналу є місцем сприятливих умов випадіння конденсату при робочій фазі горіння твердопаливного котла.

Згідно з обов'язковими рекомендаціями, наданими в ДБН В.2.5-67:2013 [1], димохідний канал при необхідності має бути утепленим. Нажаль в літературі відсутні будь-які універсальні норми та параметри для матеріалу димохідного каналу, які можливо було б використовувати у всіх випадках. Це обумовлено

різноманітним температурним режимів, складом та періодично змінним характером витрати димових газів. І в кожному з цих випадків кожна конструкція потребує індивідуальний підхід до утеплення.

Щоб довести необхідність утеплення цегляного димохідного каналу, та побачити доцільність цього, було вирішено зробити контрольне моделювання. Матеріалом для зовнішнього утеплення приймемо базальтову скловату завтовшки 50 мм., з коефіцієнтом теплопровідності $0,038 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$, якою утеплимо димохідний канал зі всіх сторін. Цей енергозберігаючий захід є більш-менш доступним за ціною капіталовкладень, дієвість якого буде визначено за результатами розрахунку [15].

3.3 Особливості побудови розрахункової моделі з утеплювачем та розрахунок

Для чисельного моделювання процесу відводу продуктів згорання через утеплений димохідний канал залишаємо вже існуючі моделі «каналу» та «цегли», й додаємо прошарок утеплювача, зменшуючи об'єм зовнішнього повітря. Ціла модель процесу тепер складається з чотирьох частин:

- канал, через який відходять гази;
- цегляні стіни каналу;
- прошарок утеплювача;
- зовнішнє повітря вулиці.

Як й при попередньому розрахунку, завдяки програмному продукту SolidWorks, було зроблено геометричні моделі заданих розмірів, які при складанні утворюють єдине ціле (рис. 3.5).

Кожна з моделей, як і в попередньому розрахунку, по чергово було завантажено в сітковий генератор ICEM CFD 16.2., де в кожній моделі було вказано розрахункову область та зроблено ділення моделей на тетраїдерні сітки із призматичними прошарками на граничних поверхнях.

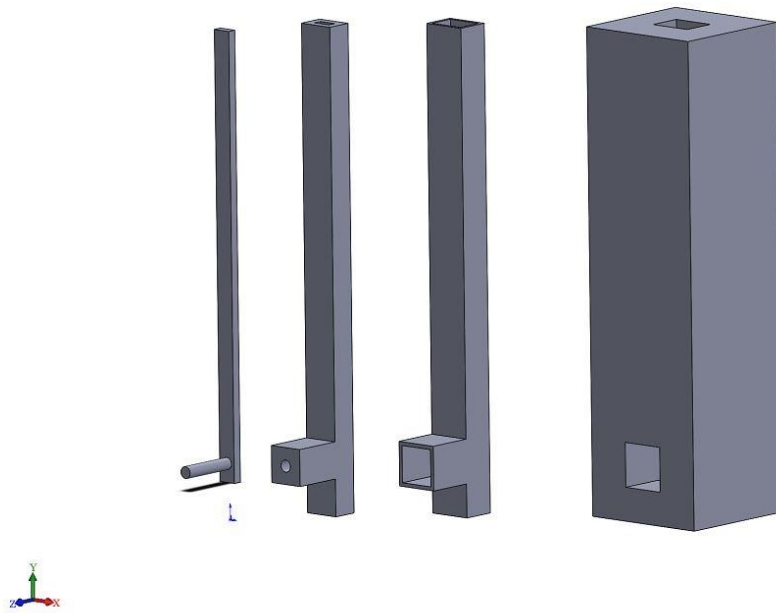


Рисунок 3.5 – Чотири моделі розрахунку з утеплювачем

Після побудови розрахункової сітки усі моделі в препроцесорі CFX-Pre було з'єднано у єдину модель. Граничні умови кожної з частин процесу моделювання залишились без змін. На доданий прошарок утеплювача димохідного каналу було вказано властивості існуючого в бібліотеці матеріалу «Glass Wool». Розрахунок залишився стаціонарним, кількість ітерацій також залишили без змін.

Сам розрахунок, як і попередній, зійшовся на половині обраних ітерацій, про що свідчить діалогове вікно процесу розрахунку, а саме стабілізація температури на виході з каналу (рис. 3.6). Параметри розрахунку знаходяться в Додатку Б.

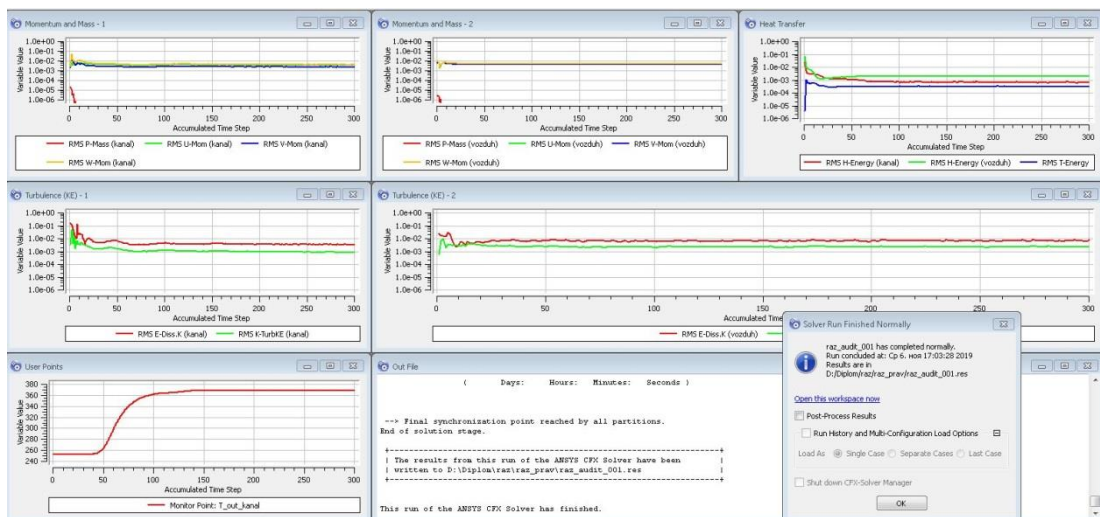


Рисунок 3.6 – Діалогове вікно контролю розрахунку

3.4 Аналіз результатів розрахунку відводу димових газів через утеплений димохідний канал

Після отримання файлу з результатами розрахунку його було завантажено в пост-процесор CFD Post 16.2.

Наведемо візуалізацію розподілу температур через поперечний переріз обраної моделі усіх складових частин (рис. 3.7).

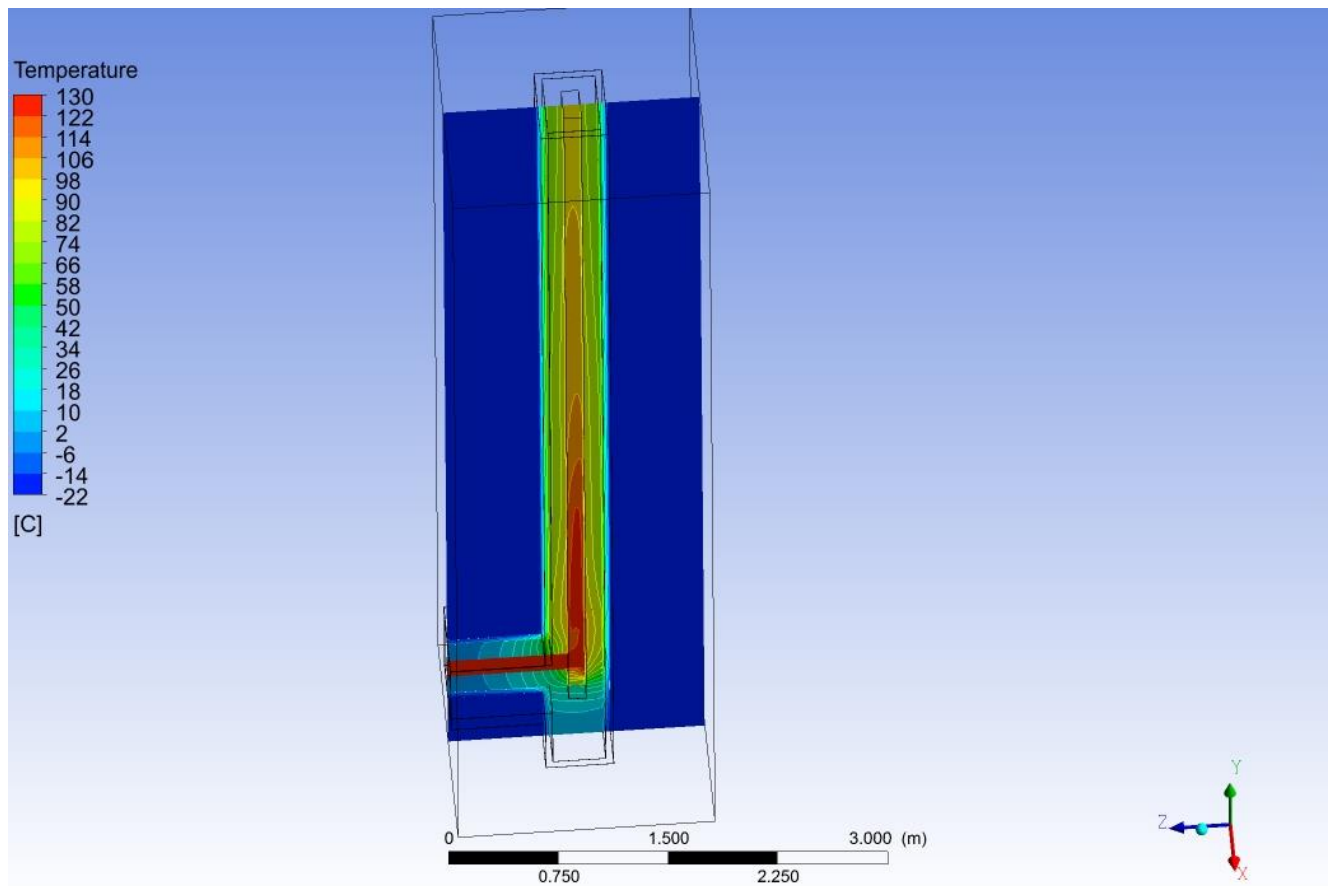


Рисунок 3.7 – Розподіл температур в розрахунковій області

В результаті утеплення димохідного каналу температури димових газів та цегляних стін каналу суттєво збільшилися. На рисунку 3.8 візуалізовано верхню частину димоходу, де температура потоку димових газів становить 95°C . Це говорить про те, що ймовірність випадіння конденсату дуже мала.

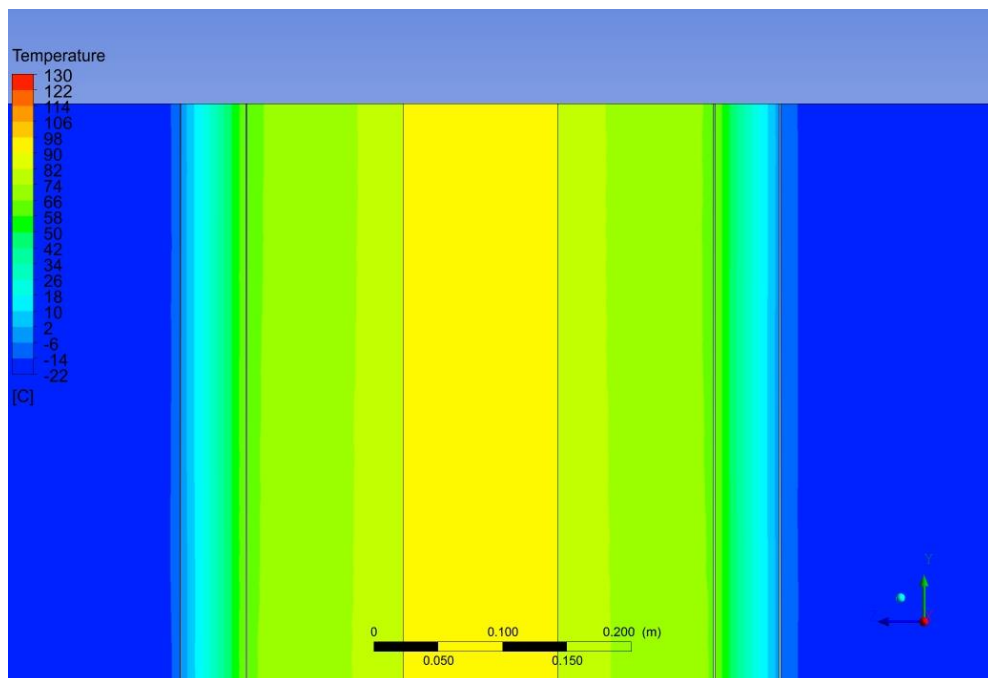
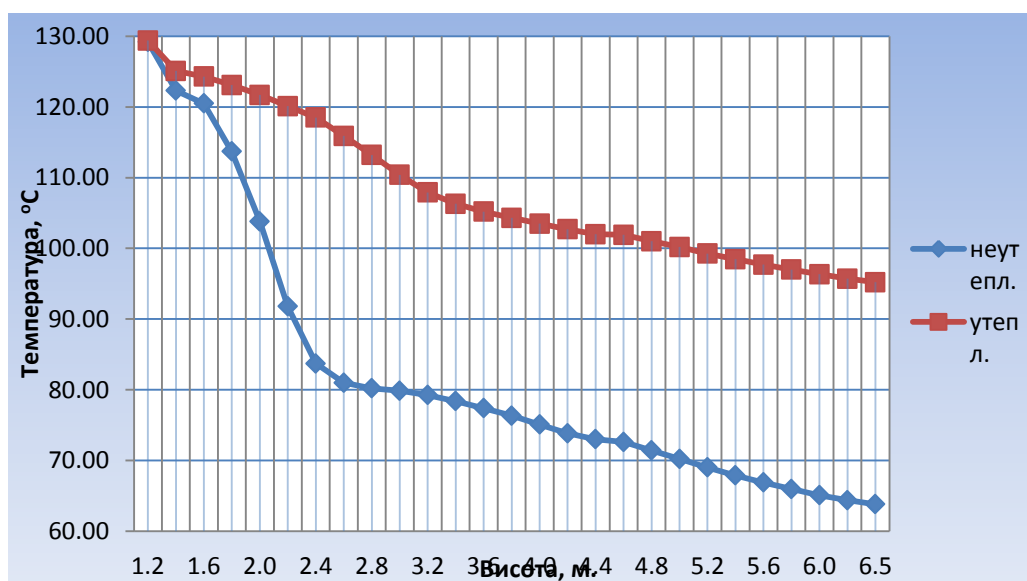


Рисунок 3.8 – Розподіл температур у верхній частині каналу

Загальний розподіл температур по висоті в порівнянні з попереднім розрахунком без утеплення приведено на графіку 3.2.

На графіку чітко видно рівномірність тепловтрат утепленого димохідного каналу. На відміну від попереднього розрахунку, в утепленому каналі рівномірно тепловий потік димових газів розподіляється по всій висоті та не має різких стрибків та коливань.

Графік 3.2 – Порівняння розподілу температур по висоті без утеплення та з утепленням



Також на рисунку 3.9 візуалізовано розподіл температур на зовнішній поверхні цегли.

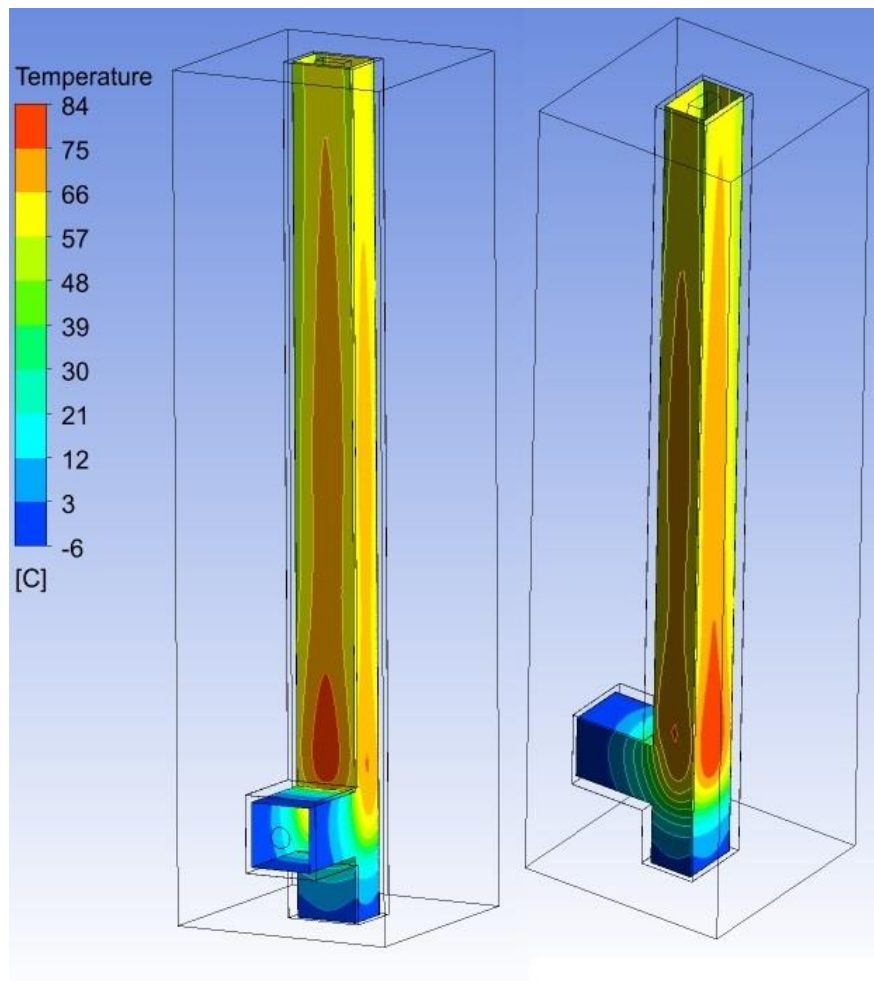


Рисунок 3.9 – Розподіл температур на зовнішній поверхні цегли

З візуалізації добре видно, що більша частина зовнішньої поверхні цегли має температуру в $50-75^{\circ}\text{C}$, а певні зони мають температуру $80-84^{\circ}\text{C}$. Такі робочі температури вносять певні корективи до вибору технології утеплення, які неодмінно потрібно враховувати. Тому категорично не рекомендується в якості матеріалу утеплення використовувати пінопластові плити будь якої щільності, та в якості кріплення використовувати пластикові дюбелі. Монтаж слід робити тільки на клейові суміші, які витримують вказаний діапазон температур та не втрачатимуть при цьому своїх властивостей.

З візуалізації на рисунку 3.10 можна побачити, що температура на поверхні самого утеплювача у будь-якому випадку буде нижче нуля.

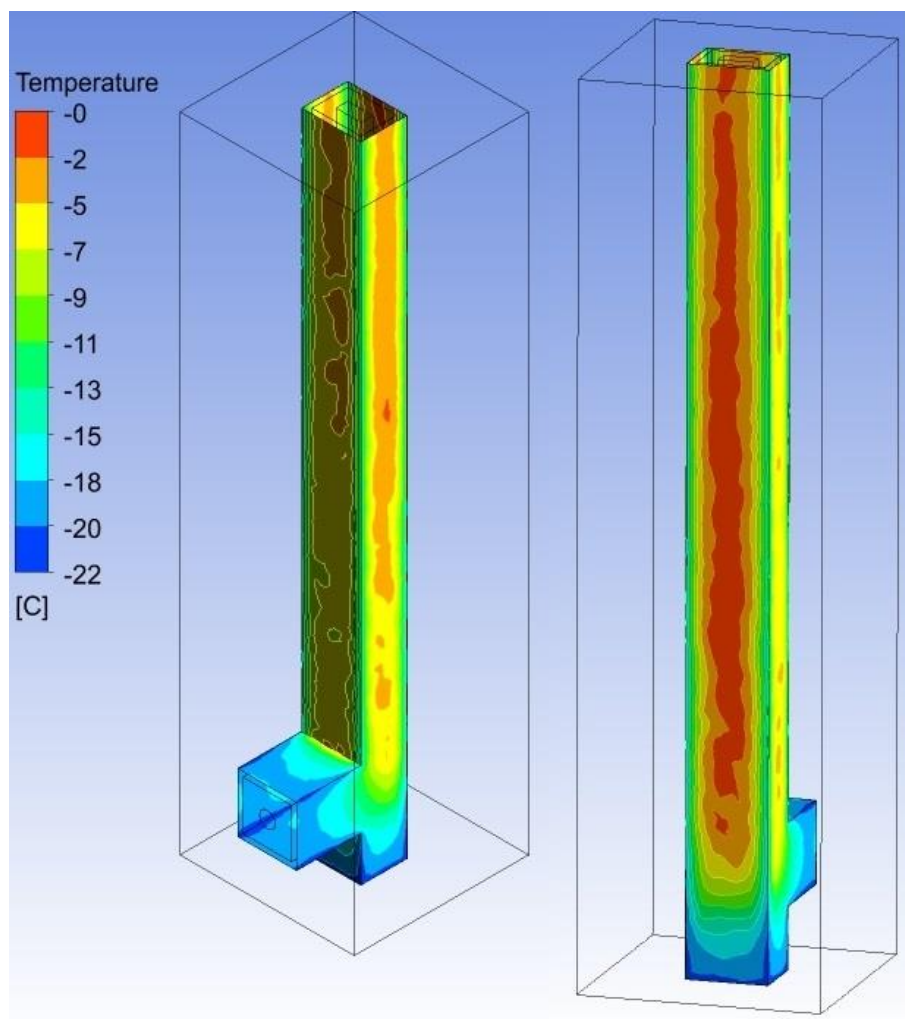


Рисунок 3.10 – Розподіл температур на зовнішній поверхні утеплювача.

Щодо до розподілу швидкостей по площині каналу, то утеплення димоходу не внесло ніяких змін. Програма Ansys, як і в першому розрахунку, розраховувала параметри процесу в певну мить часу. Тому отримані дані по розподілу швидкостей не відрізняються від візуалізацій попереднього розрахунку. Такі ж самі завихрення та «мертві зони» у кутах каналу-паралелепіпеду, де швидкість димових газів майже нульова, як і в попередніх результатах, говорять про те, що сама його форма, в порівнянні з циліндричною, має більше недоліків. Гідравлічний опір при існуючій формі каналу завжди буде більший ніж у циліндричних форм.

Але головна мета моделювання процесу відводу димових газів через димохідний канал з утепленням, була досягнута. На рисунках 3.11 та 3.12 наведено візуалізацію потоку димових газів з температурами 100°C та 95°C відповідно.

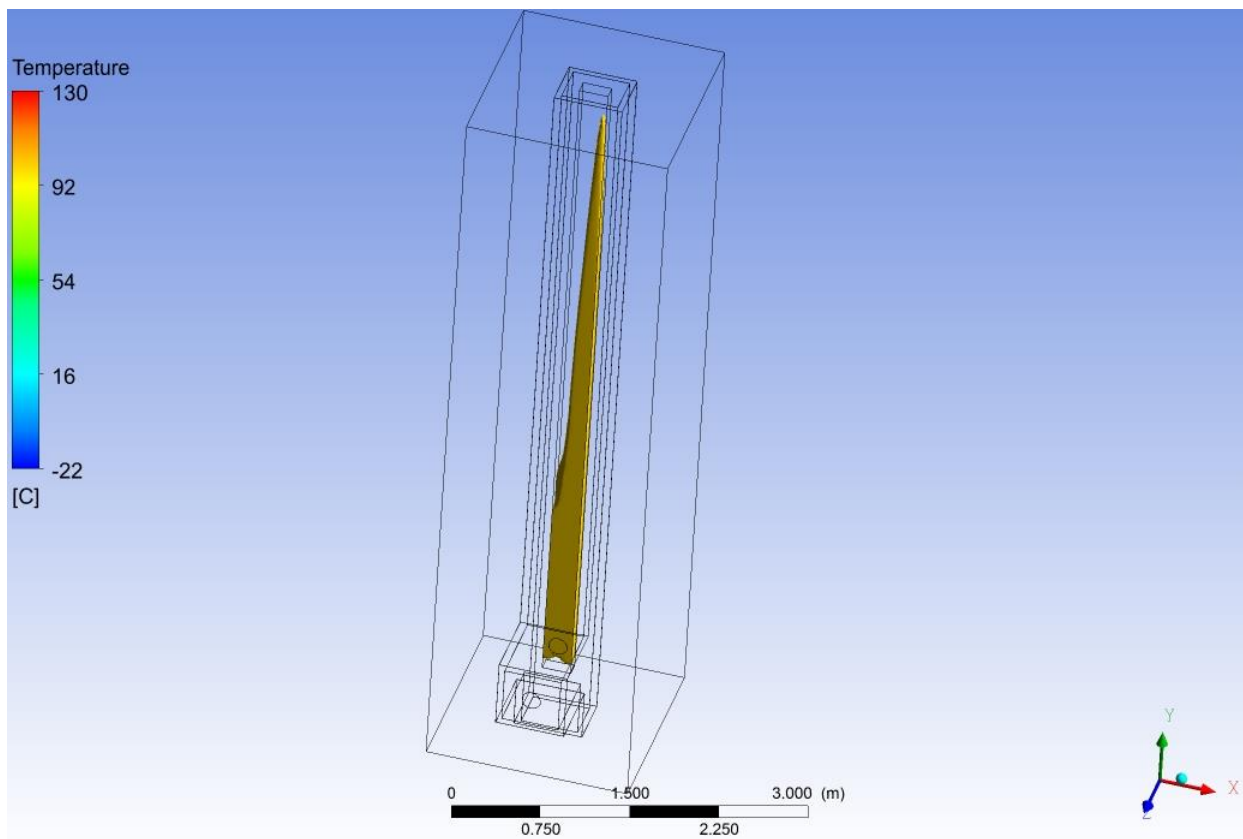


Рисунок 3.11 – Візуалізація потоку димових газів температурою 100°C

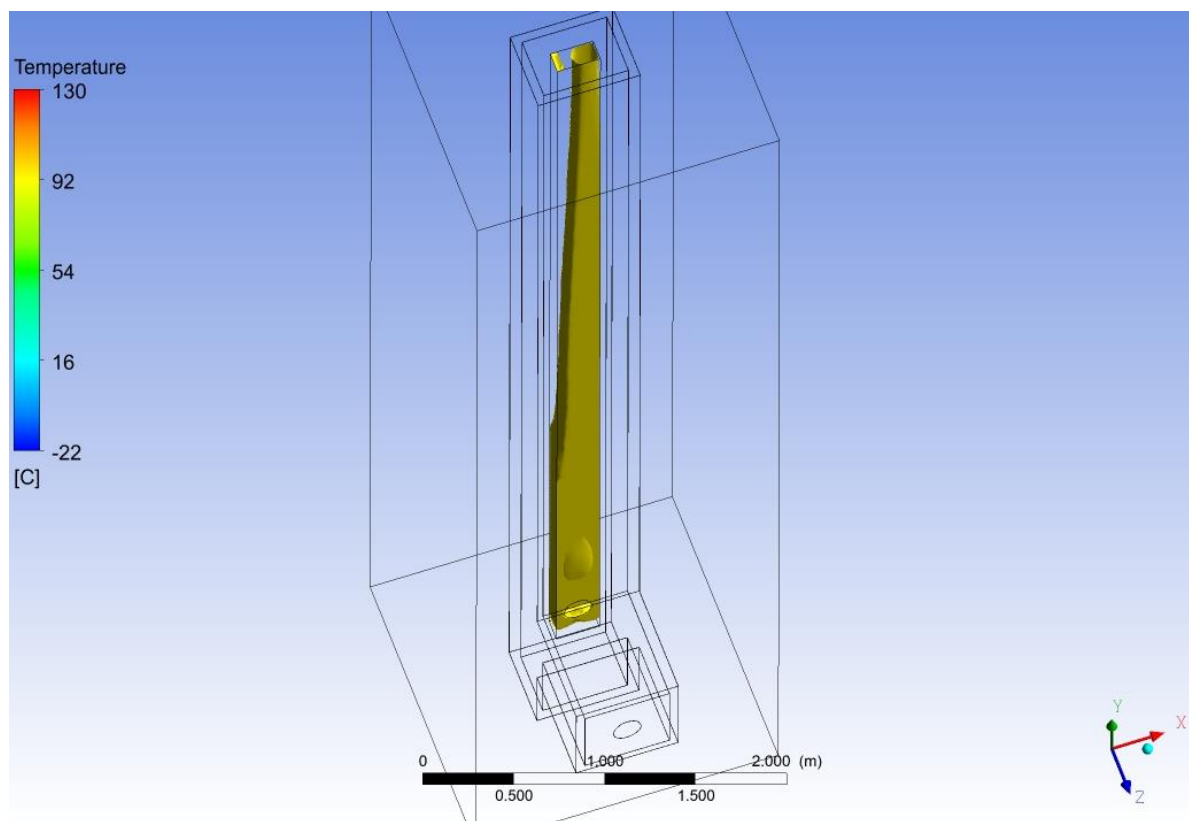


Рисунок 3.12 – Візуалізація потоку димових газів температурою 95°C

Візуалізація показує, що майже увесь внутрішній об'єм каналу має температуру, при якій точка поява роси неможлива при будь-якій вологості палива та вмісту води у продуктах його згорання.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Правила безпечної експлуатації твердопаливних котлів

Правила безпечної експлуатації твердопаливних котлів – це інформація щодо безпечного використання та обслуговування енергетичного обладнання (твердопаливного котла), яка є обов’язковою до виконання при його експлуатації.

Джерелом інформації щодо безпечної експлуатації твердопаливних котлів можуть бути:

- Державні нормативні акти (наприклад, наказ Міністерства соціальної політики «Про затвердження Правил охорони праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском» від квітня 2018 року) [16];
- Інструкції з експлуатації котлів від виробника, де міститься інформація та рекомендації щодо встановлення і використання твердопаливних котлів та його складових частин;
- Внутрішні інструкції та правила експлуатації твердопаливних котлів на підприємствах, які є обов’язковими до виконання відповідальними особами, яким періодично проводяться інструктаж.

Головна мета правил – забезпечення інформативністю користувачів щодо безпечних умов експлуатації твердопаливних котлів. Нижче приведений приклад Правил експлуатації котельної з твердопаливними котлами на підприємстві [17].

Навчання і первинна атестація машиністів (кочегарів) і операторів котельні повинні проводитися в професійно-технічних училищах, навчально-курсних комбінатах (курсах). Індивідуальна підготовка зазначеного персоналу не допускається.

Періодичні перевірки знань мають проводитися не рідше одного разу на рік. Позачергова перевірка знань проводиться:

- при переході на інше підприємство;

- у випадку переведення на обслуговування котлів іншого типу;
- при переведенні котла на спалювання іншого виду палива;
- при перерві в роботі більше 6 місяців;
- за рішенням адміністрації або за вимогою інспектора Держнаглядохоронпраці.

Власник котла повинен забезпечити тримання котлів у справному стані, а також безпечні умови їх роботи, організувавши обслуговування, ремонт і нагляд відповідно до вимог Правил.

Для забезпечення справного стану і постійного контролю за безпечною експлуатацією котлів власником котла має бути призначена особа, відповідальна за його справний стан і безпечну експлуатацію. Така особа призначається з числа інженерно-технічних працівників, котрі мають відповідну кваліфікацію і теплотехнічну освіту.

Призначення відповідальної особи необхідно оформляти наказом по підприємству із записом номера і дати наказу в паспорт котла . На період відсутності відповідальної особи (відпустки, відрядження тощо) виконання його обов'язків має бути покладено на іншого інженерно-технічного працівника, який пройшов перевірку знань.

Відповідальний за справний стан і безпечну експлуатацію повинен забезпечити: тримання котлів у справному стані; проведення своєчасного планово-запобіжного ремонту котлів і підготовку їх до технічного опосвідчення; своєчасне усунення виявлених несправностей; обслуговування котлів навченим та атестованим персоналом; обслуговуючий персонал виробничими інструкціями, а також періодичну перевірку знань цих інструкцій; виконання обслуговуючим персоналом виробничих інструкцій.

Відповідальний за справний стан і безпечну експлуатацію котлів зобов'язаний: регулярно оглядати котли в робочому стані; щоденно в робочі дні перевіряти записи

в змінному журналі і розписуватися в ньому; проводити роботу із персоналом по підвищенню його кваліфікації; проводити технічне опосвідчення котлів; зберігати паспорти котлів та інструкції заводів-виготовлювачів по їх монтажу та експлуатації; проводити протиаварійне тренування з персоналом котельні; перевіряти правильність ведення технічної документації при експлуатації та ремонті котлів; брати участь у комісії з атестації та періодичній перевірці знань ІТП і обслуговуючого персоналу; брати участь в обстеженнях, які проводять органи Держнаглядохоронпраці, і своєчасно виконувати їх приписи.

Забороняється доручати машиністові (кочегару), операторові котла, який знаходиться на чергуванні, виконання під час роботи котла будь-яких інших робіт, не передбачених виробничою інструкцією.

Забороняється залишати котел без нагляду до повного припинення горіння в топці, вилучення з неї решт палива і зниження тиску до нуля.

Робота котла при камерному спалюванні палива допускається без постійного нагляду машиніста, оператора при наявності автоматики, що забезпечує ведення нормального режиму роботи з пульта управління, контроль і зупинку котла при порушеннях режиму роботи, які можуть викликати пошкодження котла з одночасною сигналізацією про це на пульт управління. Переведення котлів на диспетчеризоване управління має бути проведене за проектом, виконаним спеціалізованою організацією.

Власник котла на підставі, інструкції заводу-виробника Правил використання котлів з урахуванням особливостей даної котельні розробляє і затверджує виробничу інструкцію для персоналу котельні.

Виробнича інструкція має знаходитись у котельні на видному місці. Крім того, кожний робітник котельні повинен мати таку інструкцію в особистому використанні. До виробничої інструкції по обслуговуванню котлів прикладається оперативна схема трубопроводів котельні.

У котельні також вивішуються режимні карти котлів.

У котельні повинні бути годинник, телефон чи звукова сигналізація для виклику в екстрених випадках представників адміністрації.

У котельню не дозволяється допускати осіб, які не мають відношення до експлуатації устаткування котельні.

У котельні необхідно вести змінний журнал для записів результатів перевірки котлів і котельного устаткування, водовказівних приладів, сигналізаторів граничних рівнів води, манометрів, запобіжних клапанів, живильних пристроїв, засобів автоматики, а також тривалості продування котлів, про що ті, хто здає і приймає зміну, повинні обов'язково розписуватись у журналі про здавання і приймання котлів і зміни.

У змінному журналі мають бути записані також розпорядження начальника котельні або особи, яка його заміняє, про розпалювання або зупинку котлів (за винятком випадків аварійної зупинки).

Котел повинен бути негайно зупинений і відключений дією захисту чи персоналом у випадках, передбачених виробничою інструкцією, зокрема, при наступних несправностях і відхиленнях від норми.

Для парових і водогрійних котлів:

- при виявленні несправності запобіжного клапана;
- припиненні дії всіх живильних насосів;
- виявленні тріщин, випучин, пропусків у зварних швах, обриві анкерного болта або в'язки в основних елементах котла (барабані, колекторі, камері, пароводоперепускних і водоопускних трубах, парових і живильних трубопроводах, у жаровій трубі, вогневій коробці, кожусі топки, трубній решітці зовнішнього сепаратора);
- згасанні факелів в топці при камерному спалюванні палива;

- зникненні електричної напруги, яка подається на всіх контрольно-вимірювальних приладах, приладах дистанційного і автоматичного управління;
- виникненні пожежі в котельні, яка загрожує обслуговуючому персоналу чи котлу.

Вентиляція котельної повинна забезпечувати видалення шкідливих газів, пилу, подачу надходження повітря і підтримку температурних умов відповідно до вимог санітарних норм.

Приміщення котельної, котли і все обладнання треба тримати в справному стані і чистоті. Проходи в котельному приміщенні і виходи з нього повинні бути завжди вільними [17].

4.2 Конструкція і безпечна експлуатація запірної арматури

Запірна арматура необхідна для герметичного перекриття трубопроводу від потоку рідких, газоподібних, пароподібних, порошкоподібних або інших робочих речовин.

При суміщенні запірних функцій і регулюючих створюється запірно-регулююча арматура. Вона поєднує в собі можливість перекриття потоку робочого середовища і перерозподілу його по трубах із збереженням певної герметичності трубопроводу. Запірні та запірно-регулюючі деталі трубопроводу незамінні на промислових виробництвах і складають до 80% всієї арматури [18].

По трубопроводу направляється потік речовин, що мають різний стан: рідке, газоподібне або порошкоподібне. Крім того робоче середовище може мати різне тиск, температуру, потужність і фізико-хімічний стан. Арматура трубопроводна є механізм, який змінює перетин трубопроводу для організації руху робочого середовища. За допомогою цього елемента системи потік речовин регулюється,

відключається, змішується, скидається або розподіляється по потрібним напрямками.

Елементи для трубопроводів класифікується за кількома критеріями.

1. Функціональне призначення. Залежно від виконуваної функції виріб може бути наступних видів [19]:

- **Запірна.** При закритті крана, вентиля або засувки повністю припиняється рух робочої середовища. Запірна арматура дозволяє речовині рухатися без обмеження при відкритті відповідних механізмів. Необхідність відкриття або закриття руху потоку по трубопроводу найчастіше виникає через технічні причини. Класифікація видів запірної арматури для трубопроводів також включає елементи, призначені для спуску речовини з ємності або надходження його в контрольно-вимірювальні прилади .

- **Регулююча.** За допомогою різних вентилів, конденсатовідвідників і клапанів можна регулювати температуру, тиск, натиск або рівень робочого середовища. Регулюючі механізми дозволяють контролювати витрату речовини, що транспортується.

- **Запобіжна.** При значному підвищенні тиску речовин, що транспортуються автоматично спрацьовують запобіжні клапани або мембранні запобіжники. В результаті скидається надлишок робочої середовища.

- **Захисна.** У разі непередбаченої зміни параметрів речовин, що транспортуються відключається обладнання або ділянку магістралі, а також блокується зворотний струм робочої середовища. В результаті основна магістраль і механізми залишаються захищеними. Як захисної арматури використовуються пневмозасувки, зворотні і запірні клапани.

- **Фазорозподільча.** Така арматура ділить речовини, які мають різну фазу стану. Наприклад, відділення конденсату, масел, газів або повітря.

- Рорзподільчо-змішувальна. За допомогою спеціальних кранів або клапанів потоку робочого середовища задається певний напрямок. А за допомогою змішувачів кілька потоків з'єднуються в один.

- Контрольна. Сюди відносяться датчики рівня і пробки-спускні крани, які контролюють рівень речовини, що транспортується і його рух.

2. Способи управління [19].

Відповідно до типу управління визначається два види арматури:

- Автоматична. Такі механізми приводяться в дію автономно без участі людського фактора.

- Ручна. Для приведення в дію такого механізму необхідно виконати деякі маніпуляції руками або за допомогою приводу. Більшість видів арматури для труб, які мають діаметр менше 40 см, управляється за допомогою ручного приводу. Такі дії протікають дуже повільно і вимагають величезних фізичних витрат.

3. Способи з'єднання з трубопроводом [19].

З'єднання арматури і трубопроводу може виконуватися декількома способами:

- Муфтове з'єднання. Для такого способу використовують муфти з внутрішнім різьбленням. Спосіб можна застосовувати на виробках з металопластику, поліетилену і поліпропілену. Діаметр труби для муфтового з'єднання не повинен перевищувати 8 см, а тиск робочого середовища – 10 атмосфер.

- Фланцеве з'єднання. Для такого з'єднання використовується болтова стяжка. Це дозволяє неодноразово виконувати збірку і розбір з'єднання для очищення арматури або для ремонтних робіт. Болтові кріплення вимагають періодичного огляду, так як мають властивість слабшати в процесі експлуатації.

- З'єднання під зварювання. Стиковка деталей за допомогою зварювання в розтруб або в стик вважається найнадійнішою і герметичній, тому використовується на трубопроводах, що транспортують небезпечні речовини.

- Цапкове з'єднання. Дрібні деталі, що працюють в умовах високого тиску, з'єднуються за допомогою патрубків із зовнішнім різьбленням.

- Штуцерне з'єднання. Трубопроводи, елементи для яких мають діаметр менше 15 мм, з'єднуються за допомогою штуцера.

4. Спосіб герметизації [19].

Герметизація механізмів виконується кількома способами:

- Сальникове ущільнення досягається за допомогою сальникової набивки, яка представляє собою волокна азбесту або пеньки, просочені герметиком.

- Мембранна герметизація досягається за рахунок мембрани, покладеної між кришкою і корпусом арматури.

- Сильфона герметизація передбачає використання сильфоні збірки для ущільнення рухомих елементів.

- Шлангова герметизація вимагає наявності в конструкції еластичного шланга, який при затиску надійно відсікає потік.

5. Область використання [19].

Арматура трубопровідна може використовуватися на різних магістралях, у зв'язку з чим розрізняють такі її види:

- Спеціальну арматуру виробляють за конкретним замовленням для виконання спеціалізованих завдань. Така деталь знаходить застосування при лабораторних дослідженнях і випробуваннях, в оборонному комплексі та на АЕС.

- Механізм загального призначення випускається серіями, використовується в промисловості, житлово-комунальному господарстві та інших галузях.

- Пароводяні вироби застосовуються на трубопроводах, що працюють з водою.

- Газова арматура необхідна для систем газопостачання, яких пред'являються високі вимоги пожежної безпеки. Має надійне щільне з'єднання елементів.

- Нафтова – встановлюється на трубопроводи, що транспортують нафту і продукти її переробки. Вироби досить стійкі до агресивного середовища.

- Хімічна – проводиться з матеріалів, стійких до окислення. Вироби призначені для трубопроводів з агресивними транспортуються речовинами, що відносяться до хімічної промисловості.

- Енергетична трубопровідна – застосовується на енергетичних котлах, установках і турбінах, робоче середовище яких має підвищений тиск (300 атмосфер) і високу температуру пара (500°C).

- Суднові вироби знаходить застосування в суднобудуванні і морських спорудах, які працюють в суворих морських умовах.

- Резервуарні деталі монтуються на ємності для необхідного скидання речовин, що транспортуються.

5. Спосіб переміщення засувного механізму [19].

Залежно від способу переміщення робочого механізму виділяють наступні види арматури для трубопроводів:

- крани – замикаючі елементи з тілом обертання, переміщення якого здійснюється рухом навколо своєї осі. Може розташовуватися довільно по відношенню до напрямку потоку.

- засувки – елементи, які регулюють або замикають напрямок потоку, переміщаючись поперек основного потоку.

- Затвори або заслінки – елементи, виконані у вигляді диска, який може обертатися навколо своєї осі перпендикулярно або під кутом до потоку.

- вентилі – деталі, у яких замикають і регулюючі елементи посаджені на шпindel. При їх зворотно-поступальному русі паралельно потоку перекривається перетин в горизонтальній площині. Робоче середовище для такої арматури може бути рідкому або газоподібному. Вентилі бувають клапанними і кульовими.

6. Умовний тиск робочого середовища [19].

При умовному тиску арматура ділиться на кілька видів:

- Вакуумна – необхідна для ізоляції вакуумної камери або її частини від системи відкачування.

- Арматура абсолютного тиску застосовується на обладнанні з метою вимірювання тиску до 0,1 МПа.

- Деталі малого тиску, менше 1,6 МПа, використовуються на металопластикових, поліетиленових і поліпропіленових водопроводах побутового призначення.

- Арматура середнього тиску, менше 10 МПа.
- Вироби високого тиску, менше 100 МПа.
- Механізм надвисокого тиску, понад 100 МПа.

7. Робоча температура [19].

Залежно від температури речовини, що транспортується арматура ділиться на наступні види:

- Кріогенна – для роботи при температурі нижче -150°C .
- Арматура холодильного обладнання – для температури від -60 до -150°C .
- Низької температури – від -20 до -60°C .
- Середньої температури – не більше 400°C .
- Високої температури – в межах 600°C .
- Жаростійкий арматура може працювати в середовищі, температура якої вище 600°C .

Для безпечності експлуатації запірної арматури при її використанні слід:

1. Періодично обслуговувати з метою профілактики. Відповідно до умов експлуатації, розробити плани та графіки технічного обслуговування.
2. Заборонити використання запірної арматури, технічні параметри якої не відповідають робочим. При встановленні запірної арматури в певних вузлах потрібно враховувати робочі параметри температур і тиску рідин, та не встановлювати арматуру за технічними показниками меншими, ніж потрібно.
3. При виявленні пошкоджень негайно замінити запірну арматуру. Експлуатація вузлів з несправною запірною арматурою неприпустима [19].

4.3 Порядок гасіння пожежі на теплозабезпечуючих об'єктах.

Загальні інструкції гасіння пожеж на теплозабезпечуючих об'єктах розробляються відповідно до Закону України «Про пожежну безпеку», Правил пожежної безпеки в Україні, затверджених наказом Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій від 19.10.2004 року, зареєстрованих в Міністерстві юстиції України 04.11.2004 за N 1410/10009, Правил пожежної безпеки в компаніях, на підприємствах та в організаціях енергетичної галузі України, затверджених наказом Міністерства палива та енергетики України від 26.07.2005 року, зареєстрованих в Міністерстві юстиції України 19.10.2005 за N 1230/11510 (далі - НАПБ В.01.034-2005/111) [20].

Нормативні акти щодо гасіння пожеж [21]:

- Закон України «Про пожежну безпеку» від 29 січня 1994 р.;
- Закон України «Про охорону праці»;
- ГОСТ 3675-98 Пожежна техніка. Вогнегасники переносні. Загальні технічні вимоги та методи випробування;
- ГОСТ 2.601-95 Експлуатаційні документи;
- ГОСТ 12.2.037-78 Техніка пожежна. Вимоги безпеки;
- ДН НОП 0.001.07-94 Правила будови і безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском.

Нижче приведені порядок основних дій при виникненні пожежі на теплозабезпечувальному підприємстві.

При займанні газопроводів, або його складових частин (у тому числі топкової горілки), потрібно негайно видалити весь персонал, незадіяний в ліквідації аварії із зони запалення (пожежі). Негайно відключити газопровід котельної шляхом закриття вступної засувки газопроводу.

При необхідності провести аварійну зупинку працюючих котлів згідно вимог виробничої інструкції. Знеструмити обладнання, яке знаходиться поблизу місця займання.

Вжити заходів до гасіння пожежі, використовуючи наявні на котельні штатні засоби пожежогасіння. До первинних засобів пожежогасіння відносяться вогнегасники, внутрішні пожежні крани, пожежний інвентар (ящики з піском, бочки

з водою, пожежні відра, совкові лопати, азбестові полотна, повсть, кошма) і пожежний інструмент (гаки, ломи, сокири).

Повідомити про пожежу диспетчеру, майстру керівництву району. При необхідності викликати пожежну бригаду по тел. 101. Надати в разі потреби першу медичну допомогу постраждалим.

Після ліквідації пожежі необхідно провести оцінку подальшої працездатності котельної. В разі незначних пошкоджень, спричинених пожежею, після перевірки газопроводу та усіх складових частин процесу виробництва, приступити до розпалювання котла [21, 22].

ВИСНОВКИ

За результатами першого та другого моделювання, завдяки програмному продукту Ansys, а саме сітковому генератору ICEM CFD16.2, препроцесору CFX-PRE 16.2, розрахунковій програмі CFX-Solver Manager 16.2 та постпроцесору обробки результатів розрахунку CFX-Post 16.2, було отримано кінцеві файли з результатами розрахунку. За цими результатами було зроблено графіки а також надано візуалізацію розподілу температур і швидкостей складових частин моделі.

Результатом першого розрахунку стало те, що отримані дані не задовольнили умови, які виключають появу конденсату на внутрішніх стінках димохідного каналу, а саме температуру димових газів на виході з каналу меншу ніж 100°C . Фактична температура була 64°C . Температура на зовнішніх стінках цегли дорівнювала приблизно 22°C , що свідчило про появу точки роси при різній вологості повітря у будь-якому випадку. Тому було запропоновано варіант повторного розрахунку з тими ж геометричними параметрами, технічними показниками та умовами, але із додаванням утеплення димохідного каналу по всій його зовнішній площині.

Результати другого розрахунку задовольнили умову отримання на виході з каналу температури у 100°C . Але було виявлено, що в разі утеплення цегляного каналу, температура дотику поверхні цегли та поверхні утеплювача зavelика для використання традиційних матеріалів для утеплення.

Нижче приведені узагальнені висновки, отримані в результаті роботи.

1. Цегляні канали є найпоширенішим матеріалом димохідних каналів, що використовуються для експлуатації старих та встановлення нових твердопаливних котлів. Конструкція сучасних опалювальних котлів модернізована на збільшення ККД та має конструкційні особливості для економії палива. Результатами цих модернізацій є зменшення температур та об'ємів димових газів. Підключення нових котлів до вже існуючих димохідних каналів не завжди безболісне для користувача. Головна проблема – випадіння конденсату.

2. Результатом модернізації виробниками твердопаливних котлів є мінімізація кількості повітря для горіння та зменшення температури димових газів. Враховуючи зменшення температури газів що відходять з твердопаливного котла, цегляні димохідні канали не забезпечують умов неможливості виникнення конденсату.
3. Внаслідок різноманіття потужностей твердопаливних котлів, а відповідно й об'ємів димових газів, та фактичної поширеності двох геометричних розмірів каналу (120x120мм. та 250x120мм.), не в усіх випадках при під'єднання котла до димохідного каналу останній може забезпечити необхідно потрібний переріз каналу для нормальної природньої тяги .
4. Геометрична форма цегляного каналу, на відміну від циліндричних, не є найкращим варіантом для течії димових газів. Враховуючи велику шорсткість, постійну, хоча й невелику, зміну геометрії каналу за рахунок неможливості гладкого виконання кладки цегли (шов – цегла, шов – цегла), течія постійно буде турбулентна. При цьому у кутах каналу швидкість руху повітря завжди буде меншою. Це суттєво впливає не лише на природню тягу, яка в більшості використовується в твердопаливних котлах, але й на загальний розподіл температур на зовнішніх поверхнях цегли, що було візуалізовано на рисунках. Температура на зовнішніх кутах цегляних каналів завжди менша ніж на площині між ними.
5. Розрахунок також виявив, що збільшений переріз каналу негативно впливає на його роботу. Так з'являються декілька зон опорів: ядро потоку, яке постійно переміщується по перерізу каналу вгору; зона завихрень, де повітря не переміщується вгору, а певний проміжок часу циркулює в цій зоні; так звані «мертві зони», у яких швидкість повітря майже дорівнює нулю, або хаотично та несуттєво змінюється. Всі ці процеси погіршують швидкість руху повітря та збільшують час знаходження димових газів, які при цьому конденсуються, в димовому каналі.
6. Циліндрична форма димохідного каналу краща ніж паралелепіпеда. В циліндричних каналах геометрична форма та можливість вибрати

необхідну площу поперечного перерізу, унеможливило вищезазначені опори, та не ускладнює рух димових газів.

7. Утеплення димохідного каналу – гостра необхідність сучасності. Результати повторного моделювання суттєво поліпшили розподіл температур всередині каналу, та стовідсотково підтвердили ефективність цього заходу. Але паралельно виявили, що для утеплення необхідно вибирати термостійкі до високих температур матеріали.

Головним висновком роботи є те, що цегляні канали не є найкращими варіантами для сучасних твердопаливних котлів. Пристосування нового обладнання до вже існуючих каналів потребує ретельного вивчення та розрахунку робочих параметрів процесу горіння та відводу димових газів. За допомогою сучасного програмного забезпечення цей процес ще можна дослідити до моменту реалізації, та запобігти можливим негативним факторам на стадії розробки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.2.5-67:2013 «ОПАЛЕННЯ, ВЕНТИЛЯЦІЯ ТА КОНДИЦІОНУВАННЯ» - К. Мінрегіон України, 2013. – 149 с.
2. [Електронний інтернет-ресурс]: <https://remstroiblog.ru/natalia/2017/06/01/top-5-materialov-dlya-dymohodov-ili-kakoy-dymohod-vyibrat/>
3. [Електронний інтернет-ресурс]: <https://zen.yandex.ru/media/housedsgn/kak-pochistit-trubu-dymohoda-v-chastnom-dome-5c532bc48dea0200ac9e8dc3>
4. [Електронний інтернет-ресурс]: <http://tehnopost.kiev.ua/drevesina/18-kondensat-v-kotle-i-dymovyh-trubah.html>
5. [Електронний інтернет-ресурс]: <http://bloghay.ru/uk/drovyanye/why-does-condensate-flow-from-the-chimney-from-the-heating-condensate-in-the-boiler-and-chimneys/>
6. [Електронний інтернет-ресурс]: <http://dimbsiokamin.ru/8-dlya-chegonuzhen-fartuk-v-dimohode/index57.php>
7. [Електронний інтернет-ресурс]: <http://zprim.com.ua/temperatura-gorinnyaderevnogo-vugillya-yake-palivo-krashhe-vikoristovuvati/>
8. [Електронний інтернет-ресурс]: <http://kirpichiki.pro/read/articles/kondensat-v-dymokhode.html>
9. [Електронний інтернет-ресурс]: https://totmarket.com.ua/p1023169231-regulyator-tyagi-dlya.html?gclid=Cj0KCQiA2ITuBRDkARIsAMK9Q7PwiMteRrY7Qa9ue2EYizWatG7v_y_ZRZe55KP4LXgkDvSgtb50Wf44aAvmaEALw_wcB
10. [Електронний інтернет-ресурс]: <https://stroiteli.info/showthread.php/4706-%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D1%81%D0%B0%D1%82-%D0%B2-%D0%B4%D1%8B%D0%BC%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9-%D1%82%D1%80%D1%83%D0%B1%D0%B5-%D0%BF%D1%80%D0%B8-%D1%81%D0%B3%D0%BE%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B8-%D0%B4%D1%80%D0%BE%D0%B2>
11. [Електронний інтернет-ресурс]: <https://www.center-pss.ru/klk/k924.htm>

12. ANSYS CFX 12.1 Solver Theory. Release 12.1 [Електронний ресурс], 2009. – 270 с – Режим доступу до ресурсу: <http://orange.engr.ucolans.edu/Documentation12.1/121/CFX/xthry.pdf>
13. ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель. – К. : Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України, 2017. – 30 с.
14. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тезидоповідей XXVI міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2018, 16-18 травня 2018р.: у 4 ч. Ч. I. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». – 346 с.
15. Конспект лекцій з курсу “Енергозбереження будівель” для студентів спеціальності 7.000008 “Енергетичний менеджмент” денної форми навчання / Укладачі: С.С.Антоненко, А.А.Руденко. – Суми: Вид-во СумДУ, 2006. – 56 с.
16. [Електронний інтернет-ресурс]: http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/RE31885.html
17. [Електронний інтернет-ресурс]: <http://oppb.com.ua/articles/osnovni-vymogy-z-bezpeky-praci-pri-ekspluataciyi-tverdopalyvnyh-kotliv>
18. [Електронний інтернет-ресурс]: <http://westheating.com.ua/produkcija/armatury>
19. [Електронний інтернет-ресурс]: <https://probud.in.ua/vidi-truboprovidnoyi-armaturi-klasifikatsiya-zapirnoyi-armaturi-markuvannya-poznachennya.html>
20. Р.В. Пархоменко, Д.О. Чалий, Д.П. Войтович П-18 Пожежна тактика. Курс лекцій. – Львів: ЛДУ БЖД, 2017. – 368 с.
21. [Електронний інтернет-ресурс]: https://www.studmed.ru/view/shpargalka-ekzamenacionnye-bilety-i-otvety-po-ohrane-truda-dlya-operatorov-kotelnyh_9ddf81379a1.html
22. [Електронний інтернет-ресурс]: <http://oppb.com.ua/docs/gasinnya-pozhezh-na-energetichnih-objektah-pid-naprugoyu>

ДОДАТОК А

«Програмні параметри моделювання процесу відходження димових газів через
димохідний канал»



Date

2019/11/09 16:30:32

Contents

1. File Report

Table 1 File Information for raz_audit_001

2. Mesh Report

Table 2 Mesh Information for raz_audit_001

3. Physics Report

Table 3 Domain Physics for raz_audit_001

Table 4 Boundary Physics for raz_audit_001

1. File Report

Table 1. File Information for raz_audit_001

Case	raz_audit_001
File Path	D:/Diplom/raz/Peredrienko/raz_audit/raz_audit_001.res
File Date	06 2019
File Time	05:04:39
File Type	CFX5
File Version	16.2

2. Mesh Report

Table 2. Mesh Information for raz_audit_001

Domain	Nodes	Elements
kanal	85973	205675
kirpich	319935	892452
utepl	231673	1149597
vozduh	169507	805695

All Domains	807088	3053419
-------------	--------	---------

3. Physics Report

Table 3. Domain Physics for raz_audit_001

Domain - kanal	
Type	Fluid
Location	Assembly
Materials	
Air at STP	
Fluid Definition	Material Library
Morphology	Continuous Fluid
Settings	
Buoyancy Model	Buoyant
Buoyancy Reference Temperature	-2.2000e+01 [C]
Gravity X Component	0.0000e+00 [m s ⁻²]
Gravity Y Component	-9.8100e+00 [m s ⁻²]
Gravity Z Component	0.0000e+00 [m s ⁻²]
Buoyancy Reference Location	Automatic
Domain Motion	Stationary
Reference Pressure	1.0000e+00 [atm]
Heat Transfer Model	Thermal Energy
Include Viscous Dissipation Term	On
Turbulence Model	k epsilon
Turbulent Wall Functions	Scalable
Domain - kirpich	
Type	Solid
Location	Assembly 2
Settings	
Domain Motion	Stationary
Domain - utepl	
Type	Solid
Location	Assembly 3
Settings	
Domain Motion	Stationary
Domain - vozduh	
Type	Fluid
Location	Assembly 4
Materials	
Air at STP	

Fluid Definition	Material Library
Morphology	Continuous Fluid
<i>Settings</i>	
Buoyancy Model	Buoyant
Buoyancy Reference Temperature	-2.2000e+01 [C]
Gravity X Component	0.0000e+00 [m s ⁻²]
Gravity Y Component	-9.8100e+00 [m s ⁻²]
Gravity Z Component	0.0000e+00 [m s ⁻²]
Buoyancy Reference Location	Automatic
Domain Motion	Stationary
Reference Pressure	1.0000e+00 [atm]
Heat Transfer Model	Thermal Energy
Include Viscous Dissipation Term	On
Turbulence Model	k epsilon
Turbulent Wall Functions	Scalable
Domain Interface - kanal_kirpich	
Boundary List1	kanal_kirpich Side 1
Boundary List2	kanal_kirpich Side 2
Interface Type	Fluid Solid
<i>Settings</i>	
Interface Models	General Connection
Heat Transfer	Conservative Interface Flux
Mesh Connection	Automatic
Domain Interface - kirpich_utepl	
Boundary List1	kirpich_utepl Side 1
Boundary List2	kirpich_utepl Side 2
Interface Type	Solid Solid
<i>Settings</i>	
Interface Models	General Connection
Heat Transfer	Conservative Interface Flux
Mesh Connection	Automatic
Domain Interface - utepl_vozduh	
Boundary List1	utepl_vozduh Side 1
Boundary List2	utepl_vozduh Side 2
Interface Type	Fluid Solid
<i>Settings</i>	
Interface Models	General Connection
Heat Transfer	Conservative Interface Flux
Mesh Connection	Automatic

Table 4. Boundary Physics for raz_audit_001

Domain	Boundaries	
kanal	Boundary - inlet_kanal	
	Type	INLET
	Location	INLET
	<i>Settings</i>	
	Flow Direction	Normal to Boundary Condition
	Flow Regime	Subsonic
	Heat Transfer	Static Temperature
	Static Temperature	1.3000e+02 [C]
	Mass And Momentum	Mass Flow Rate
	Mass Flow Rate	1.8392e-02 [kg s ⁻¹]
	Mass Flow Rate Area	As Specified
	Turbulence	Medium Intensity and Eddy Viscosity Ratio
	Boundary - kanal_kirpich Side 1	
	Type	INTERFACE
	Location	WALL_KANAL
	<i>Settings</i>	
	Heat Transfer	Conservative Interface Flux
	Mass And Momentum	No Slip Wall
	Wall Roughness	Smooth Wall
	Boundary - outlet_kanal	
	Type	OPENING
	Location	OUTLET
	<i>Settings</i>	
	Flow Direction	Normal to Boundary Condition
	Flow Regime	Subsonic
	Heat Transfer	Opening Temperature
	Opening Temperature	areaAve(Temperature)@outlet_kanal
	Mass And Momentum	Opening Pressure and Direction
	Relative Pressure	1.0000e+00 [atm]
	Turbulence	Medium Intensity and Eddy Viscosity Ratio
kirpich	Boundary - kanal_kirpich Side 2	
	Type	INTERFACE
	Location	INNER_WALL
	<i>Settings</i>	
	Heat Transfer	Conservative Interface Flux
	Boundary - kirpich_utepl Side 1	

	Type	INTERFACE
	Location	OUTLET_WALL
	<i>Settings</i>	
	Heat Transfer	Conservative Interface Flux
	Boundary - kirpich Default	
	Type	WALL
	Location	Primitive 2D, Primitive 2D A, Primitive 2D B
	<i>Settings</i>	
	Heat Transfer	Adiabatic
	Boundary - kirpich_utepl Side 2	
utepl	Type	INTERFACE
	Location	WALL_INLET_UTEPL
	<i>Settings</i>	
	Heat Transfer	Conservative Interface Flux
	Boundary - utepl_vozduh Side 1	
	Type	INTERFACE
	Location	WALL_OUTLET_UTEPL
	<i>Settings</i>	
	Heat Transfer	Conservative Interface Flux
	Boundary - utepl Default	
	Type	WALL
	Location	Primitive 2D 2, Primitive 2D A 2, Primitive 2D B 2
	<i>Settings</i>	
	Heat Transfer	Adiabatic
	Boundary - inlet_vozduh	
vozduh	Type	INLET
	Location	INLET_VOZDUH
	<i>Settings</i>	
	Flow Regime	Subsonic
	Heat Transfer	Static Temperature
	Static Temperature	-2.2000e+01 [C]
	Mass And Momentum	Normal Speed
	Normal Speed	4.0000e-01 [m s ⁻¹]
	Turbulence	Medium Intensity and Eddy Viscosity Ratio
	Boundary - utepl_vozduh Side 2	
	Type	INTERFACE
	Location	WAL_INLET
	<i>Settings</i>	
	Heat Transfer	Conservative Interface Flux
	Mass And Momentum	No Slip Wall

	Wall Roughness	Smooth Wall
	Boundary - outlet_vozduh	
	Type	OPENING
	Location	OUTLET_VOZDUH
	<i>Settings</i>	
	Flow Direction	Normal to Boundary Condition
	Flow Regime	Subsonic
	Heat Transfer	Opening Temperature
	Opening Temperature	areaAve(Temperature)@outlet_vozduh
	Mass And Momentum	Opening Pressure and Direction
	Relative Pressure	1.0000e+00 [atm]
	Turbulence	Medium Intensity and Eddy Viscosity Ratio
	Boundary - vozduh Default	
	Type	WALL
	Location	WALL_OUTLET
	<i>Settings</i>	
	Heat Transfer	Adiabatic
	Mass And Momentum	No Slip Wall
	Wall Roughness	Smooth Wall

ДОДАТОК Б

«Програмні параметри моделювання процесу відходження димових газів через
утеплений димохідний канал»



Date

2019/11/27 20:30:03

Contents

1. File Report

Table 1 File Information for raz_audit_001

2. Mesh Report

Table 2 Mesh Information for raz_audit_001

3. Physics Report

Table 3 Domain Physics for raz_audit_001

Table 4 Boundary Physics for raz_audit_001

1. File Report

Table 1. File Information for raz_audit_001

Case	raz_audit_001
File Path	D:/Diplom/raz/Peredrienko/raz_audit/raz_audit_001.res
File Date	06 2019
File Time	05:04:39
File Type	CFX5
File Version	16.2

2. Mesh Report

Table 2. Mesh Information for raz_audit_001

Domain	Nodes	Elements
kanal	85973	205675
kirpich	319935	892452
utepl	231673	1149597

vozduh	169507	805695
All Domains	807088	3053419

3. Physics Report

Table 3. Domain Physics for raz_audit_001

Domain - kanal	
Type	Fluid
Location	Assembly
Materials	
Air at STP	
Fluid Definition	Material Library
Morphology	Continuous Fluid
Settings	
Buoyancy Model	Buoyant
Buoyancy Reference Temperature	-2.2000e+01 [C]
Gravity X Component	0.0000e+00 [m s ⁻²]
Gravity Y Component	-9.8100e+00 [m s ⁻²]
Gravity Z Component	0.0000e+00 [m s ⁻²]
Buoyancy Reference Location	Automatic
Domain Motion	Stationary
Reference Pressure	1.0000e+00 [atm]
Heat Transfer Model	Thermal Energy
Include Viscous Dissipation Term	On
Turbulence Model	k epsilon
Turbulent Wall Functions	Scalable
Domain - kirpich	
Type	Solid
Location	Assembly 2
Settings	
Domain Motion	Stationary
Domain - utepl	
Type	Solid
Location	Assembly 3
Settings	
Domain Motion	Stationary
Domain - vozduh	
Type	Fluid
Location	Assembly 4
Materials	

Air at STP	
Fluid Definition	Material Library
Morphology	Continuous Fluid
<i>Settings</i>	
Buoyancy Model	Buoyant
Buoyancy Reference Temperature	-2.2000e+01 [C]
Gravity X Component	0.0000e+00 [m s ⁻²]
Gravity Y Component	-9.8100e+00 [m s ⁻²]
Gravity Z Component	0.0000e+00 [m s ⁻²]
Buoyancy Reference Location	Automatic
Domain Motion	Stationary
Reference Pressure	1.0000e+00 [atm]
Heat Transfer Model	Thermal Energy
Include Viscous Dissipation Term	On
Turbulence Model	k epsilon
Turbulent Wall Functions	Scalable
Domain Interface - kanal_kirpich	
Boundary List1	kanal_kirpich Side 1
Boundary List2	kanal_kirpich Side 2
Interface Type	Fluid Solid
<i>Settings</i>	
Interface Models	General Connection
Heat Transfer	Conservative Interface Flux
Mesh Connection	Automatic
Domain Interface - kirpich_utepl	
Boundary List1	kirpich_utepl Side 1
Boundary List2	kirpich_utepl Side 2
Interface Type	Solid Solid
<i>Settings</i>	
Interface Models	General Connection
Heat Transfer	Conservative Interface Flux
Mesh Connection	Automatic
Domain Interface - utepl_vozduh	
Boundary List1	utepl_vozduh Side 1
Boundary List2	utepl_vozduh Side 2
Interface Type	Fluid Solid
<i>Settings</i>	
Interface Models	General Connection
Heat Transfer	Conservative Interface Flux
Mesh Connection	Automatic

Table 4. Boundary Physics for raz_audit_001

Domain	Boundaries	
kanal	Boundary - inlet_kanal	
	Type	INLET
	Location	INLET
	<i>Settings</i>	
	Flow Direction	Normal to Boundary Condition
	Flow Regime	Subsonic
	Heat Transfer	Static Temperature
	Static Temperature	1.3000e+02 [C]
	Mass And Momentum	Mass Flow Rate
	Mass Flow Rate	1.8392e-02 [kg s ⁻¹]
	Mass Flow Rate Area	As Specified
	Turbulence	Medium Intensity and Eddy Viscosity Ratio
	Boundary - kanal_kirpich Side 1	
	Type	INTERFACE
	Location	WALL_KANAL
	<i>Settings</i>	
	Heat Transfer	Conservative Interface Flux
	Mass And Momentum	No Slip Wall
	Wall Roughness	Smooth Wall
	Boundary - outlet_kanal	
	Type	OPENING
	Location	OUTLET
	<i>Settings</i>	
	Flow Direction	Normal to Boundary Condition
	Flow Regime	Subsonic
	Heat Transfer	Opening Temperature
	Opening Temperature	areaAve(Temperature)@outlet_kanal
	Mass And Momentum	Opening Pressure and Direction
	Relative Pressure	1.0000e+00 [atm]
	Turbulence	Medium Intensity and Eddy Viscosity Ratio
kirpich	Boundary - kanal_kirpich Side 2	
	Type	INTERFACE
	Location	INNER_WALL
	<i>Settings</i>	
	Heat Transfer	Conservative Interface Flux
	Boundary - kirpich_utepl Side 1	

	Type	INTERFACE
	Location	OUTLET_WALL
	<i>Settings</i>	
	Heat Transfer	Conservative Interface Flux
	Boundary - kirpich Default	
	Type	WALL
	Location	Primitive 2D, Primitive 2D A, Primitive 2D B
	<i>Settings</i>	
	Heat Transfer	Adiabatic
	Boundary - kirpich_utepl Side 2	
utepl	Type	INTERFACE
	Location	WALL_INLET_UTEPL
	<i>Settings</i>	
	Heat Transfer	Conservative Interface Flux
	Boundary - utepl_vozduh Side 1	
	Type	INTERFACE
	Location	WALL_OUTLET_UTEPL
	<i>Settings</i>	
	Heat Transfer	Conservative Interface Flux
	Boundary - utepl Default	
	Type	WALL
	Location	Primitive 2D 2, Primitive 2D A 2, Primitive 2D B 2
	<i>Settings</i>	
	Heat Transfer	Adiabatic
	Boundary - inlet_vozduh	
vozduh	Type	INLET
	Location	INLET_VOZDUH
	<i>Settings</i>	
	Flow Regime	Subsonic
	Heat Transfer	Static Temperature
	Static Temperature	-2.2000e+01 [C]
	Mass And Momentum	Normal Speed
	Normal Speed	4.0000e-01 [m s ⁻¹]
	Turbulence	Medium Intensity and Eddy Viscosity Ratio
	Boundary - utepl_vozduh Side 2	
	Type	INTERFACE
	Location	WAL_INLET
	<i>Settings</i>	
	Heat Transfer	Conservative Interface Flux
	Mass And Momentum	No Slip Wall

	Wall Roughness	Smooth Wall
	Boundary - outlet_vozduh	
	Type	OPENING
	Location	OUTLET_VOZDUH
	<i>Settings</i>	
	Flow Direction	Normal to Boundary Condition
	Flow Regime	Subsonic
	Heat Transfer	Opening Temperature
	Opening Temperature	areaAve(Temperature)@outlet_vozduh
	Mass And Momentum	Opening Pressure and Direction
	Relative Pressure	1.0000e+00 [atm]
	Turbulence	Medium Intensity and Eddy Viscosity Ratio
	Boundary - vozduh Default	
	Type	WALL
	Location	WALL_OUTLET
	<i>Settings</i>	
	Heat Transfer	Adiabatic
	Mass And Momentum	No Slip Wall
	Wall Roughness	Smooth Wall